

**STANDARDIN SFS 4315 POHJARAKENNUSOHJEET  
SOVELTAMINEN SILLANSUUNNITTELUSSA**

**TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS**

**TVH 722068**

**HELSINKI 1982**



TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS  
Sillansuunnittelutoimisto

Helsinki 10.5.1982

Nro Sss-148/C.2.3.1

Viite Tie- ja vesirakennushalli-  
tuksen kirje n:o Sss-55,  
4.2.1980

Jakelussa mainitut

Asia Standardin SFS 4315 Pohjaraken-  
nusohjeet soveltaminen sillan-  
suunnittelussa, TVH 722068, 1982

Viitekirjeellä lähetettiin koekäyttöön standardin SFS 4315 Pohjarakennusohjeet 1979 soveltamista sillansuunnittelussa koskeva ohje. Koekäytön, lausuntojen ja lisäselvitysten perusteella on laadittu asiakohdassa mainittu täydennetty ohje, joka lähetetään toistaiseksi sillansuunnittelussa käytettäväksi.

Sovellutusohjeen sisältö

Maakerrosten geoteknisiä ominaisuuksia koskevat täydennykset on esitetty kohdassa 2.2.

Maanvaraisten antura- ja laattaperustusten geoteknisessä mitoituksessa osoitetaan, että varmuus maapohjan murtumista vastaan on riittävä, etteivät painumat ole rakenteille haitallisia ja ettei routa aiheuta niihin vaurioita.

Varmuus maapohjan murtumista vastaan osoitetaan tarkastelussa, jossa kuormina käytetään ominaiskuormia yhdisteltynä määrääväksi kuormayhdistelmäksi (kohta 6.41). Maapohjan kantavuus lasketaan kantavuuskaavalla, jonka kantavuusvakioissa otetaan huomioon maan kitkakulmassa olevan epävarmuuden lisäksi kuormassa oleva epävarmuus (kohta 8.41). Kokonaisvarmuus, joka saavutetaan, täyttää standardin määrittelemän vaa-

Vastauksessa pyydetään viittaamaan kirjelmän numeroon ja päiväkseen



timuksen 2,0. Koekäytössä kokeiltiin osavarmuuskerroinmenetelmää. Siitä luovuttiin kuitenkin, koska menetelmän yksityiskohtien selvittely on Suomessa vielä kesken.

Painumat lasketaan pysyville kuormille ja pystysuoralle liikennekuormalle (kohta 8.42). Jos mainitun kuormayhdistelmän aiheuttama, anturan tehokkaalle pinta-alalle laskettu keskimääräinen pohjapaine ei ylitä kohdassa 8.2 esitettyjä raja-arvoja, ei painuman laskeminen ole yleensä tarpeellista.

Routimaton perustussyvyys määritetään pääsääntöisesti standardin kylmiä rakenteita koskevan suosituksen perusteella (standardin kuva 18). Koekäytössä olleessa ohjeessa perustussyvyys oli jonkin verran suurempi.

Paalutetun perustuksen kantavuuden tarkastelu suoritetaan käyttäen ominaiskuormista muodostettua määräävää kuormayhdistelmää (kohta 6.41). Määräävän kuormayhdistelmän aiheuttamat paalurasitukset eivät saa ylittää paalun geoteknistä kantavuutta (kohdat 10.5 ja 10.6). Paaluille sallittavat sijainti- ja suunta- poikkeamat otetaan huomioon paalutettua perustusta suunniteltaessa.

Maanpaine sillan maatuen takana lasketaan lepopaineena. Laskennassa otetaan lisäksi huomioon tiivistyksestä aiheutuva lepopaineen lisäys lähellä maanpintaa. Niitä tapauksia varten, joissa maanpaineen minimiarvo on vaarallinen, on lisätty tarkastelu myös 0,7-kertaiselle lepopaineelle. Rakenteiden siirtymien ja maanpaineen välistä riippuvuutta koskevat tiedot on lisätty sovellutusohjeeseen.

### Sovellutusohjeen käyttö

Sovellutusohjetta käytetään kaikkien yleisten teiden siltojen geoteknisessä suunnittelussa.

Laskelmien tuloksista tulee selvästi käydä selville seuraavat tiedot:



**Maanvarainen perustus**

- tehokkaalle pinta-alalle laskettu pohjarasitus määräävälle kuormayhdistelmälle ja sitä vastaava maapohjan kantavuus
- rakenteen painuma, jos se on laskettu

**Paalutettu perustus**

- paalujen määrä ja sijoitus sekä suurimmat ja pienimmät paalurasitukset määräävistä kuormayhdistelmistä

**Kuormat**

Kuormat on esitetty ohjeessa "Siltojen kuormat" TVH 722072.

Osastopäällikkö

  
E.A. Hietanen

Toimiston päällikkö  
Yli-insinööri

  
Helge Roos

**LIITTEENÄ:** Ohje TVH 722068

**JAKELU:** Tie- ja vesirakennuspiirit, 5 kpl  
S, Stie, Sts, R, Rmt, Rsot, Rsr, 1 kpl  
Sss:n teknillinen henkilökunta, 1 kpl  
Ohjekokoelma C.2.3.1  
Kirjasto  
TVL:n ulkopuolinen jakelu/luettelo



STANDARDIN SFS 4315 POHJARAKENNUSOHJEET  
SOVELTAMINEN SILLANSUUNNITTELUSSA

Sisällysluettelo

- 1. YLEISTÄ
  - 1.1 Soveltamisohjeen tarkoitus
- 2. MAA- JA KALLIOPERÄ
  - 2.2 Maakerrosten geotekniset ominaisuudet
- 6. POHJARAKENNUSSUUNNITTELU
  - 6.2 Pohjarakennussuunnitelman sisältö
  - 6.4 Pohjarakenteiden mitoitus
- 8. MAANVARAISET ANTURA- JA LAATTAPERUSTUKSET
  - 8.2 Maanvaraisten perustusten geotekninen suunnittelu
  - 8.4 Anturaperustusten kantavuus
  - 8.5 Liukuvarmuus
  - 8.7 Routimaton perustussyvyys
- 9. KALLIONVARAINEN PERUSTAMINEN
- 10. PERUSTAMINEN PAALUILLA
  - 10.1 Paaluperustuksen suunnittelu
  - 10.5 Lyöntipaalujen geotekninen kantavuus
  - 10.6 Suurpaalun geotekninen kantavuus
- 13. MAANPAINE JA TUKIRAKENTEET
  - 13.1 Maanpaine

Kirjallisuusluettelo

- Laskentaesimerkki 1 Maanvarainen sillan maatuki
- Laskentaesimerkki 2 Penkereen varaan perustaminen, vakavuuslaskenta
- Laskentaesimerkki 3 Painuman laskeminen



1. YLEISTÄ

Tämän soveltamisohjeen tarkoitus on täydentää standardin SFS 4315 Pohjarakennusohjeet (RIL 121) suosituksia tie- ja vesirakennuslaitoksen sillansuunnittelua varten.

Tässä ohjeessa on noudatettu standardin kappalenumerointia. Vain ne kohdat on esitetty, joita on haluttu täydentää.

2. MAA- JA KALLIOPERÄ

2.2 Maakerrosten geotekniset ominaisuudet

Ellei käytettävissä ole suoriin määrittelyihin perustuvia geoteknisiä mitoitusarvoja, voidaan kitkamaiden ja tiivistettyjen täytteiden tilavuuspainona, kitkakulmana ja kokoonpuristuvuuden moduulilukuna käyttää taulukon 1 arvoja, jotka ovat luonteeltaan varovaisia keskiarvoja. Vaativissa kohteissa kannattaa kitkakulma määrittää esim. kolmiaksiaali- tai rasialeikkauskokeilla, sillä kitkakulman arvot saattavat poiketa taulukossa mainituista.

Taulukossa 1 karkearakeiset maakerrokset on jaettu kolmeen ryhmään rakeisuuden perusteella: sora, hiekka sekä hienoainespitoinen hiekka ( $d_{10} \leq 0,06$  mm). Kukin rakeisuusryhmä on kairausvastuksen perusteella jaettu kolmeen tiiviysluokkaan: löyhä (L), keskitiivis (K) sekä tiivis (T). Kairausvastukselle on löyhässä kerrostumassa annettu minimiarvo. Vastukseltaan pienemmät, erittäin löyhät kerrostumat eivät yleensä sovellu siltojen maanvaraiseen perustamiseen.

Moreenit on jaettu kairausvastuksen perusteella neljään ryhmään. Moreenien kitkakulmalle on kussakin tiiviysluokassa esitetty raja-arvo, jota ei ilman luotettavia selvityksiä saa ylittää. Kitkakulman voidaan olettaa olevan vähintään rakeisuudeltaan ( $d_{50}$ ) ja tiiviysluokaltaan vastaavan kitkamaan mukainen. Moreenien leikkauslujuuden voidaan yleensä otaksua muodostuvan vain kitkasta.



Taulukko 1. KARKEARAKEISTEN MAALAJIEN JA MOREENIEN OMINAISUUKSIEN  
ARVIOINTI RAKEISUUDEN JA KAIRAUSVASTUKSEN PERUSTEELLA

Maalaji		Tilavuuspaino $\text{KN/m}^3$		Kitka- kulma $\phi$	Moduuli- luku m	Jännitys- eksponentti $\beta$	Kairausvastus	
		Pohjavedenp. yläpuolella $\gamma$	Pohjavedenp. alapuolella $\gamma'$				Painokairaus puolikierr./m	Heijarikairaus lyöntiä/m <sup>1)</sup>
Hiekka $d_{10} \leq 0,06$	HHK L K T	15...17	9...	30°	50...150	0,5	100...250	50...100
				32°	100...200		250...500	100...200
		16...18	11	34°	150...300		>500	>200
Hiekka $d_{10} > 0,06$	Hk L K T	16...18	10...	32°	150...300	0,5	50...150	25...75
				34°	200...400		150...300	75...125
		17...19	12	36°	300...600		>300	>125
Sora	Sr L K T	17...19	10...	34°	300...600	0,5	50...100	25...50
				36°	400...800		100...200	50...100
		18...20	12	38°	600...1200		>200	>100
Moreeni	Mr HL L K T	16...19	10...12	...34°	300...600	0,5	<200	<100
		17...20	10...12	...36°	600...		200...500	100...300
		18...21	11...13	...38°	800...		>500	300...700
		19...23	11...14	...40°	1200...		lyömällä	>700
Tiivistet- ty täyte perustuk- sien alla <sup>2)</sup>	Louhe Murske Sora	15...18	9...11	45°	1200	0,5		
		19...22	11...13	42°	1200	0,5		
		18...21	11...13	40°	1200	0,5		

1) Maalajin tiiviyyttä ei moreeneja lukuunottamatta saa yleensä arvioida pelkkien heijarikairaustulosten perusteella.

2) Näiden arvojen käyttö edellyttää, että työn suoritus ja materiaalit ovat sillanrakennustöiden yleisen työselityksen kohdan 3300: 2.11 mukaiset.



6. POHJARAKENNUSSUUNNITTELU

6.2 P o h j a r a k e n n u s s u u n n i t e l m a n  
s i s ä l t ö

Siltarakenteet ovat standardin luokituksen mukaan hyvin  
vaativia tai vaativia pohjarakennuskohteita.

6.4 P o h j a r a k e n t e i d e n m i t o i t u s

6.41 Varmuus murtoon nähden (kantavuus, stabiliteetti)

Rakenteiden mitoituksessa käytetään seuraavia perusteita:

Kuormina käytetään ominaiskuormia. Kuormayhdistelmissä otetaan ominaiskuorman suuruisina huomioon kaikki pysyvät kuormat, pystysuora liikennekuorma ja vaikutukseltaan määräävä yksi muuttuva kuorma. Muut muuttuvat kuormat otaksutaan vaikuttavaksi puolella ominaiskuorman arvolla.

Kitkamaan lujuuden laskenta-arvot kantavuustarkastelussa määritetään maakerrosten ominaisarvoista (kohta 2.2) käyttäen maan kitkakulman tangentille varmuuskerrointa  $\gamma_{\phi} = 1,3$ . Täytteen varaan perustettaessa voidaan täytteen kitkakulman tangentille käyttää varmuuskerrointa  $\gamma_{\phi} = 1,2$ , kun perustuksen kantavuus lasketaan liukupinta-analyysillä. Täyte on tällöin rakennettava sillanrakennustöiden yleisen työselityksen kohdan 3300:2.11 mukaisesti kuivatyönä kerroksittain tiivistäen. Käytettäessä kitkakulman tangentille edellä mainittuja varmuuskertoimia kattaa tuloksena saatava kokonaisvarmuus maan lujuusominaisuuksiin sisältyvän epävarmuuden lisäksi myös kuormien suuruudessa esiintyvät epävarmuudet.

Maanpaine lasketaan käyttäen maan kitkakertoimen ominaisarvoa (kohta 13.1). Vedenpaine otetaan huomioon kohdan 6.44 mukaan.



6.42 Onnettomuuskuorma

Onnettomuuskuormasta (törmäyskuorma) aiheutuvat seuraukset on erikseen arvioitava ottaen huomioon se, että rakenteen kokonaisuutena on kestävä sortumatta paikalliset vauriot. Erityisesti selvitetään, ettei rakenne kaadu eikä siirry niin paljon, että päällysrakenne voi pudota tulta.

Onnettomuuskuorman vaikuttaessa varmuuden kaatumista ja liukumista vastaan tulee olla  $\geq 1$ . Onnettomuuskuorma otetaan tarkasteluissa huomioon ominaiskuorman suuruusena. Samanaikaisesti otaksutaan vaikuttavan ominaiskuorman suuruusena pysyvät kuormat ja puolella ominaiskuorman arvolla pitkäaikaiset muuttuvat kuormat. Liukuvarmuutta laskettaessa käytetään kitkakulman ominaisarvoa.

6.43 Painumat

Painumaa laskettaessa käytetään kohdassa 8.42 mainittuja perusteita.

6.44 Vedenpinnan aseman huomioonottaminen

Vedenpinnan aseman vaikutus voidaan yleensä käsitellä seuraavasti:

Vedenpinnan raja-arvoina käytetään alivedenpintaa NW ja ylivedenpintaa HW. Veden aiheuttama noste ja tästä aiheutuva muutos maanpaineeseen voidaan käsitellä pysyvänä kuormana alivedenpinnan NW tasolla ja HW-tason ja NW-tason väliseltä osalta muuttuvana kuormana, joka otetaan huomioon koko arvolla myös kuormia yhdisteltäessä.



# 8. MAAVARAISET ANTURA- JA LAATTAPERUSTUKSET

## 8.2 Maanvaraisten perustusten geotekninen suunnittelu

Perustusten varmuus maapohjan murtumista vastaan on osoitettava laskelmin. Painumalaskelma tarvitaan, jos pysyvää kuormasta ja pystysuorasta liikennekuormasta anturan tehokkaalle pinta-alalle aiheutuva keskimääräinen pohjapaine  $\sigma_0$  tasalaatuisella pohjamaalla ylittää taulukon 2 arvot. Taulukon maalajiryhmät ovat samat kuin kohdan 2.2 taulukossa 1.

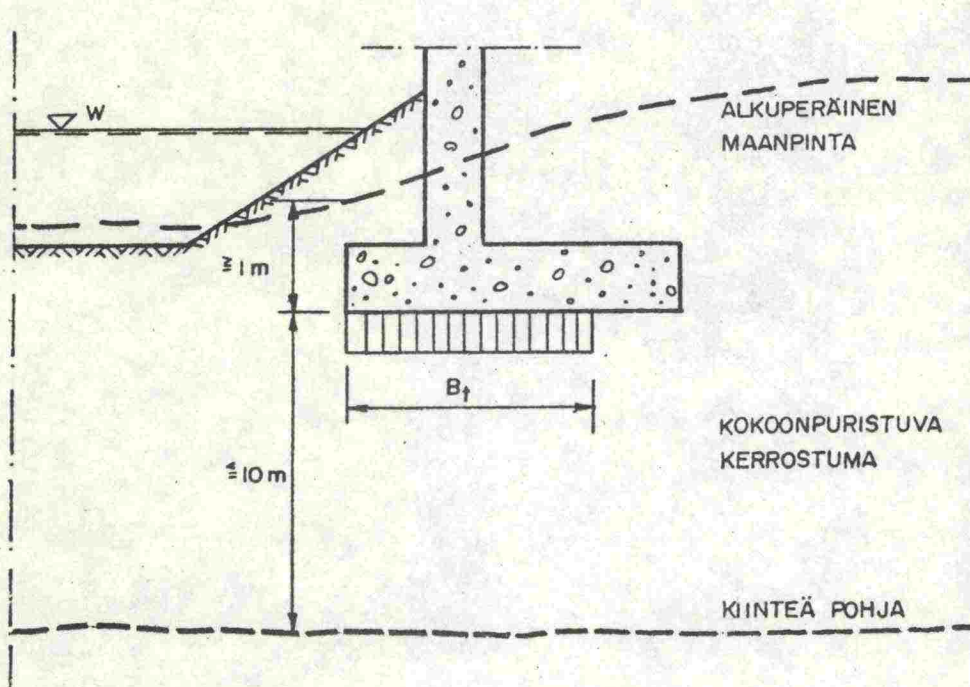
Taulukko 2. Pohjapaineen raja-arvo  $\sigma_s$ , (MN/m<sup>2</sup>) jota suuremmilla arvoilla painumalaskelma tarvitaan.

Maalaji		Peruslaatan tehokkaan alan mitat $B_t \times L_t$ (m <sup>2</sup> )		
		3x9	4x10	6x12
Hiekka	L	Painuma tarkistetaan aina laskelmilla		
$d_{10} \leq 0,06$	K			
	T			
Hiekka	L	0,14	0,12	0,10
$d_{10} > 0,06$	K	0,20	0,18	0,15
	T	0,35	0,30	0,25
Sora	L	0,30	0,25	0,20
	K	0,50	0,43	0,35
	T	0,75	0,62	0,50
Moreeni	HL	0,30	0,25	0,20
	L	0,60	0,50	0,40
	K	0,60	0,60	0,60
	T	0,75	0,75	0,75

Taulukon raja-arvot perustuvat seuraaviin olettamuksiin (kuva 1)

- perustustason pystysuora etäisyys alkuperäisestä maanpinnasta  $\geq 1,0$  m
- peruslaatan tehokkaan alan mitat ( $B_t \times L_t$ ) pienempiä kuin taulukossa mainitut arvot
- kokoonpuristuvien kerrosten kokonaispaksuus  $\leq 10$  m
- sallittava painuma 20 mm
- pohjavedenpinnan asema vapaa





Kuva 1. Painumalaskennan otaksumat

Taulukon 2 arvot vastaavat kokonaispainumaa  $s = 20$  mm. Yleensä voidaan olettaa painumaeron eri tukien välillä olevan  $\leq 10$  mm taulukon ehtojen täyttyessä. Saman tuen perustamisolosuhteiden ollessa tasalaatuiset ei sillan poikkisuunnassa tarvitse ottaa huomioon painumaeroa. Tarvittaessa on arvioitava painumasta aiheutuva alusrakenteen kiertyminen ja otettava sen vaikutus huomioon suunnittelussa.

Monissa tapauksissa silta on taloudellista suunnitella suuremmalle painumalle kuin 20 mm.



8.4 Anturaperustusten kantavuus

8.41 Maapohjan murtuminen

8.411 Kantavuuskaava

Anturaperustusten varmuus maapohjan murtumista vastaan on riittävä, jos kohdassa 6.41 esitetyn kuormayhdistelmän aiheuttama perustuksen tehokkaalle pinta-alalle laskettu keskimääräinen pohjapaine ei ylitä maapohjan kantavuutta. Perustapauksessa, jossa maanpinta oletetaan vaakasuoraksi ja maa tasalaatuiseksi, kantavuus lasketaan DIN-normin 4017[5] käytäntöä vastaten kaavalla:

$$p = \gamma_1 D N_q s_q i_q + \gamma_2 B_t N_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

jossa

$\gamma_1$  = maan tilavuuspaino perustustason yläpuolella

$\gamma_2$  = maan tilavuuspaino perustustason alapuolella

$D$  = perustussyvyys

$B_t$  = perustuksen tehokas leveys (murtosuunnassa)

$N_q$  =  $e^{\pi \tan \phi_n \cdot \tan^2(45^\circ + \phi_n/2)}$

$N_\gamma$  =  $(N_q - 1) \tan \phi_n$

$s_q, s_\gamma$  = perustuksen muodosta riippuvat kertoimet

$i_q, i_\gamma$  = kuormitusresultantin kaltevuudesta riippuvat kertoimet

Kaava on voimassa matalaan perustetuille anturoille, joissa

$$D \leq 2,5 \times B_t.$$

Perustamistason yläpuolisen maakerroksen paino ( $\gamma_1 D$ ) vaikuttaa ratkaisevasti kantavuuteen. Tämä kerros saadaan ottaa huomioon kantavuutta laskettaessa vain kun sen rakentaminen ja pysyvyys on varma.







8.412 Perustuksen muodon ja kuormien resultantin kaltevuuden vaikutus

Perustapauksessa, jossa kuormien resultantin vaakakomponentin edellytetään vaikuttavan lyhyemmän sivun  $B_t$  suunnassa, perustuksen muodosta riippuvat kertoimet ovat:

$$s_q = 1 + \sin \phi_n \frac{B_t}{L_t}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \frac{B_t}{L_t}$$

jossa  $B_t \leq L_t$

Kuormien resultantin kaltevuus otetaan huomioon kertoimilla

$$i_q = (1 - 0,7 \frac{H}{V})^3$$

$$i_\gamma = (1 - \frac{H}{V})^3$$

jossa

$H$  = resultantin vaakakomponentti sivun suunnassa

$V$  = resultantin pystykomponentti

Jos kuormien resultantilla on suuruudeltaan merkittävä vaakakomponentti sekä tehokkaan pinta-alan lyhyemmän että pidemmän sivun suunnassa, tarkistetaan kantavuus molemmissa suunnissa. Kuorman kaltevuudesta aiheutuva korjauskerroin lasketaan käyttäen vaakavoiman komponenttia tarkastelusuunnassa.

Kun lasketaan kantavuutta pidemmän sivun  $L_t$  suunnassa kantavuuskaavassa esiintyvä  $B_t$  korvataan  $L_t$ :llä ja muotokertoimet ovat

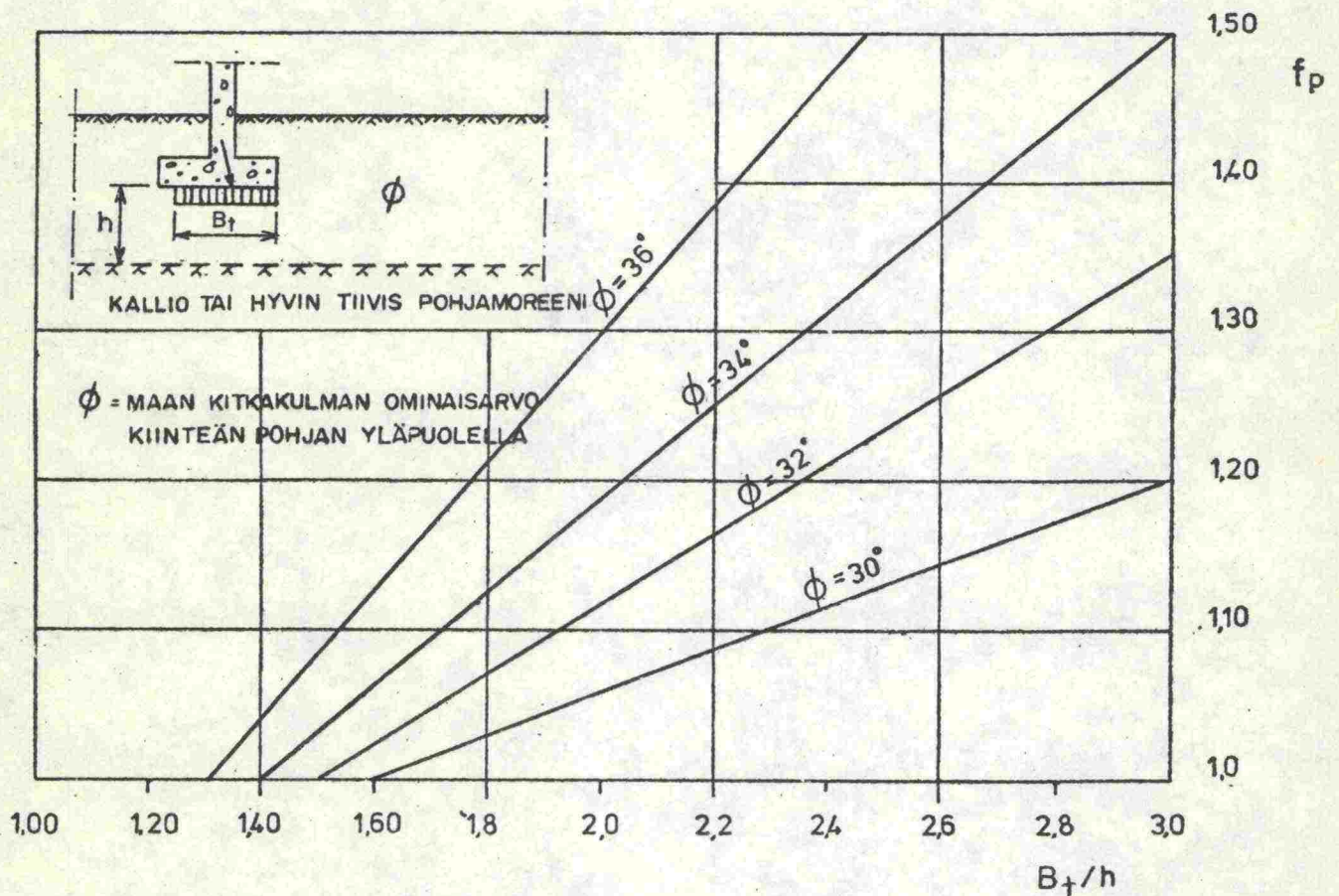
$$s_q = 1 + \sin \phi_n$$

$$s_\gamma = 0,7$$



8.413 Kiinteän pohjan syvyyden vaikutus

Kantavuus kasvaa, jos kiinteä pohja (kallio tai hyvin tiivis pohjamoreeni  $\phi \geq 40^\circ$ ) on lähellä perustamistasoa. Kuvassa 3 on esitetty korjauskerroin  $f_p$ , jolla kantavuuskaavalla saatu kantavuuden arvo voidaan kertoa kiinteän pohjan ollessa lähellä perustamistasoa [10,11] .



Kuva 3. Kiinteän pohjan syvyyden vaikutus kantavuuteen. Korjauskerroin  $f_p$ .

8.414 Pohjavedenpinnan aseman vaikutus (Kuva 4)

Jos ylin pohjavedenpinta on etäisyydellä  $z_w \leq B_t$  perustamistasosta mitattuna, lasketaan kantavuuskaavassa käytettävä tilavuuspaino ( $\gamma_2$ ) lähteen [12] mukaan yhtälöstä

$$\gamma_2 = \gamma' + \frac{z_w}{B_t} (\gamma - \gamma')$$



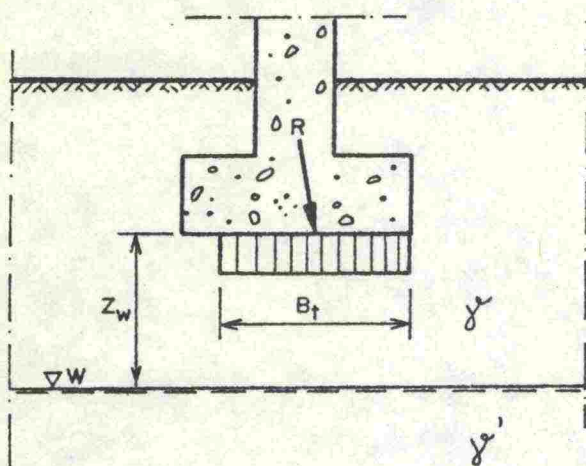
jossa

$\gamma$  = maan tilavuuspaino pohjavedenpinnan yläpuolella

$\gamma'$  = maan tehokas tilavuuspaino pohjavedenpinnan alapuolella

Jos pohjavedenpinnan etäisyys  $z_w$  on pysyvästi  $\geq B_t$ , niin

$$\gamma_2 = \gamma$$



Kuva 4. Merkinnät kaavassa kohdassa 8.414

#### 8.415 Maanpinnan kaltevuus

Maanpinnan ollessa kalteva, on kantavuuskaavalla vaakasuoralle maanpinnalle laskettua kantavuutta pienennettävä lähteen [9] mukaan kertoimella

$$g = (1 - 0,5 \tan \beta)^5$$

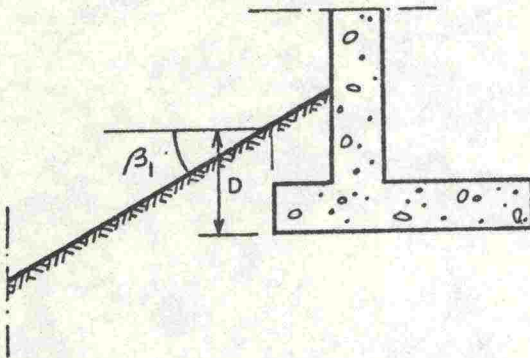
jossa  $\beta$  on luiskan kaltevuus vaakatason suhteen.

Kaltevuuskorjaus voidaan laskea seuraavien kuvien mukaisesti kahdella vaihtoehtoisella tavalla. Mitoituskantavuudeksi valitaan suurempi näin saaduista arvoista.



Laskentatapa 1.

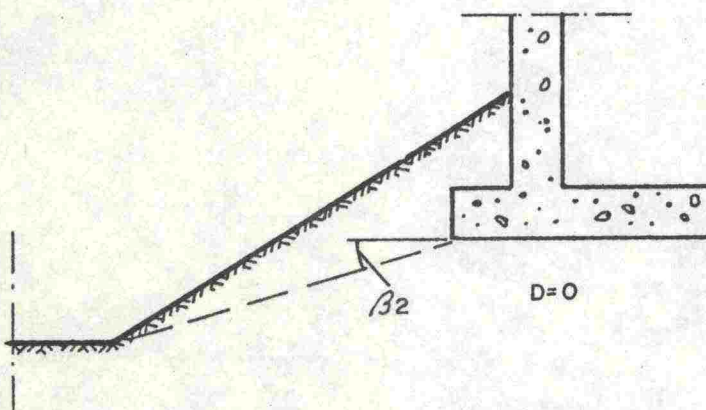
- perustussyvyys  $D$  kantavuutta laskettaessa kuvan 5 a mukaisesti
- $\beta = \beta_1$



Kuva 5a. Kalteva maanpinta,  
laskentatapa 1.

Laskentatapa 2 (kuva 5b).

- perustussyvyys kantavuutta laskettaessa  $D = 0$
- $\beta = \beta_2$



Kuva 5b. Kalteva maanpinta,  
laskentatapa 2.

Perustuksen kantavuus voidaan laskea myös liukupinta-analyysillä, käyttäen Bishopin, kitkaympyrä - tai log. spiraalimenetelmää [7].



#### 8.416 Perustaminen penkereen varaan

Penkereen varaan perustettaessa rakenteen vakavuus on osoitettava ensisijaisesti liukupinta-analyysillä. Tällöin liukupintoja on sijoitettava kulkemaan myös täytteen alapuolisten heikompien maakerrosten kautta.

Penkereen varaan perustetun sillan päätytuen vakavuuslaskentaa on käsitelty yksityiskohtaisemmin laskentaesimerkissä 2. Liukupinnat on laskettu Bishopin menetelmällä.

#### 8.42 Painumat

Anturaperustusten painumat lasketaan pysyville kuormille sekä pystysuorille liikennekuormille käyttäen Ohde-Janbun kaavaa [8], joka jännitysekspONENTIN arvolla  $\beta = 0,5$  ja vertailujännityksen arvolla  $\sigma_v = 100$  kPa on muotoa:

$$\epsilon_z = \frac{0,2}{m_z} (\sqrt{\sigma_z} - \sqrt{\sigma_{cz}})$$

jossa

$\epsilon_z$  = syvyydellä  $z$  olevan maakerroksen suhteellinen kokoonpuristuma

$m_z$  = moduuliluku syvyydellä  $z$

$\sigma_z$  = perustuksen ja maan oman painon aiheuttama tehokas pystysuora normaali-jännitys syvyydellä  $z$  (kPa)

$\sigma_{cz}$  = tehokas esikuormituksesta aiheutuva pystysuora normaali-jännitys syvyydellä  $z$  (kPa)

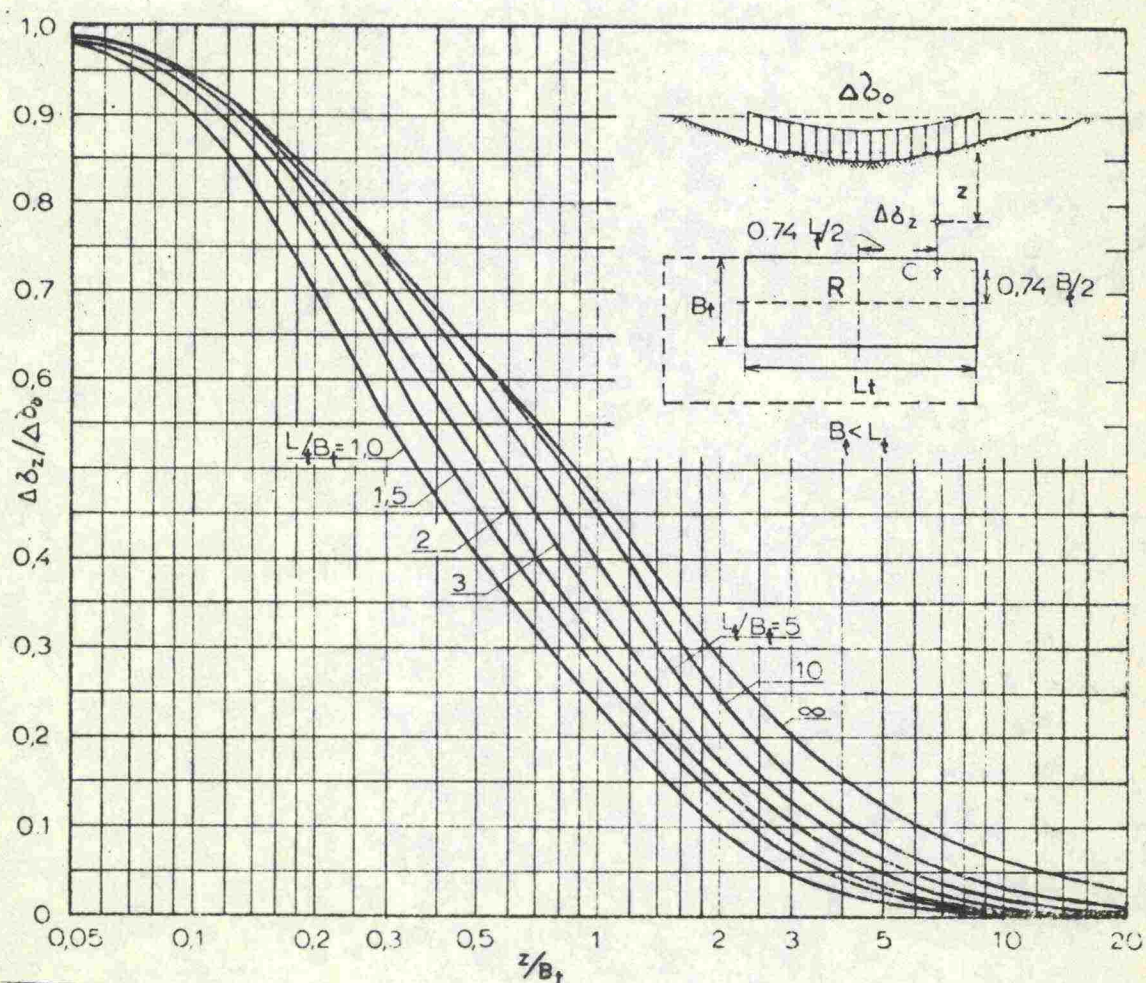
Painumien laskemista varten on perustuksen alapuolinen maa jaettava geoteknisesti tasalaatuisiin maakerrostumiin, joissa moduuliluku  $m$  voidaan otaksua vakioksi. Jako voidaan kitkamailla tehdä tämän ohjeen kohdan 2.2 taulukon 1 mukaisesti rakeisuuden ja kairausvastuksen perusteella.

Jännitys  $\sigma_{cz}$  on tarkasteltavan, syvyydellä  $z$  olevan kerroksen yläpuolisten maakerrosten painosta aiheutuva tehokas jännitys ennen rakentamista vallinneessa tilanteessa. Pohjaveden noste otetaan huomioon tehokasta jännitystä laskettaessa veden keskimääräisellä korkeudella.



Tehokas pystysuora kokonaisjännitys  $\sigma_z$  syvyydellä  $z$  saadaan lisäämällä jännitykseen  $\sigma_{cz}$  perustuksesta aiheutuva lisäjännitys  $\Delta\sigma_z$  syvyydellä  $z$  ( $\sigma_z = \sigma_{cz} + \Delta\sigma_z$ ). Perustuksesta aiheutuva lisäjännitys perustamistasossa  $\Delta\sigma_o$  saadaan vähentämällä perustuksen tehokkaalle pinta-alalle lasketusta pohjapaineesta perustamistasossa esikuormituksesta aiheutuva jännitys  $\sigma_{co}$  ( $\Delta\sigma_o = \sigma_o - \sigma_{co}$ ).

Jännityksen  $\Delta\sigma_o$  oletetaan jakautuvan maassa kimmoteorian mukaisesti. Kuvassa 6 on esitetty suorakaiteen muotoisen taipuisan laatan ns. tunnuspuiteen alapuolella esiintyvän pystysuoran normaalijännityksen jakautumiskäyrät. Tunnuksipiste on se taipuisan laatan piste, joka painuu yhtä paljon kuin jäykkä laatta. Sillan peruslaatta voidaan olettaa jäykäksi ja laatan painuma laskea taipuisan laatan tunnuspuiteen painuman avulla.



Kuva 6. Pystysuoran jännityksen jakautuminen suorakaiteen muotoisen taipuisan laatan tunnuspuiteen (C) alla.

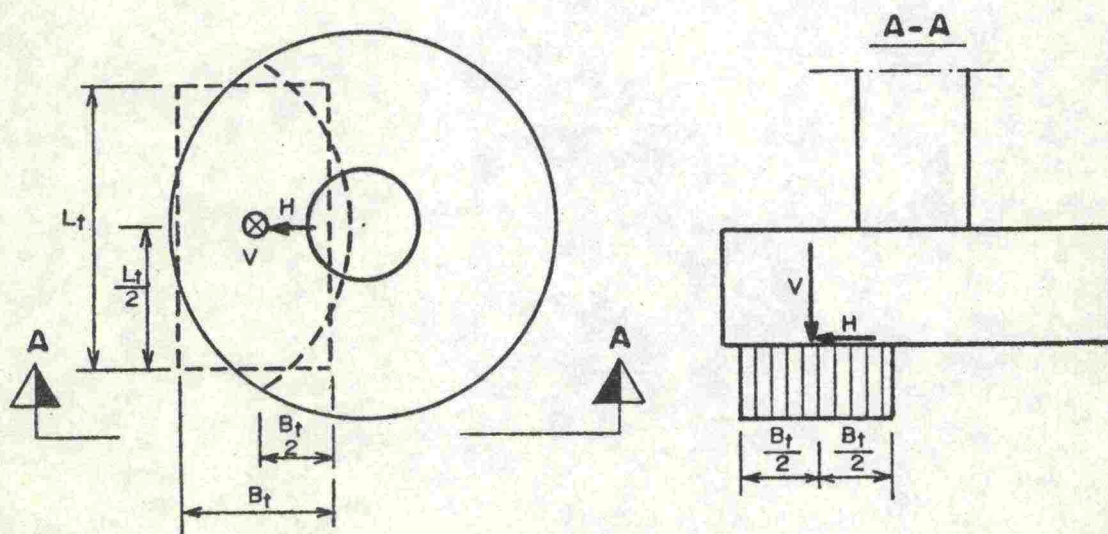


Kuvasta 6 saadaan laatan tehokkaan pinta-alan muodon ja koon perusteella syvyydellä  $z$  laatan alapinnasta vaikuttava lisäjännityksestä  $\Delta\sigma_0$  aiheutuva tehokas pystysuora lisäjännitys  $\Delta\sigma_z$ .

Jännitys  $\Delta\sigma_z$  pienenee nopeasti syvyyden kasvaessa. Tämän takia on geoteknisesti tasalaatuinenkin maa jaettava tarvittaessa erillisiin, riittävän ohuisiin laskentakerroksiin. Laskentakerroksen paksuus ei saa yleensä olla suurempi kuin laatan tehokas leveys  $B_t$ . Lähinnä anturaa oleva maa on syvyyteen  $z = 2 \times B_t$  jaettava laskentakerroksiin, joiden paksuus on  $0,3 \dots 0,5 \times B_t$ . Syvemmällä kuin  $z = 4 \times B_t$  olevien kerrosten vaikutus painumaan on vähäinen, elleivät ne ole selvästi löyhempiä kuin yläpuoliset kerrokset.

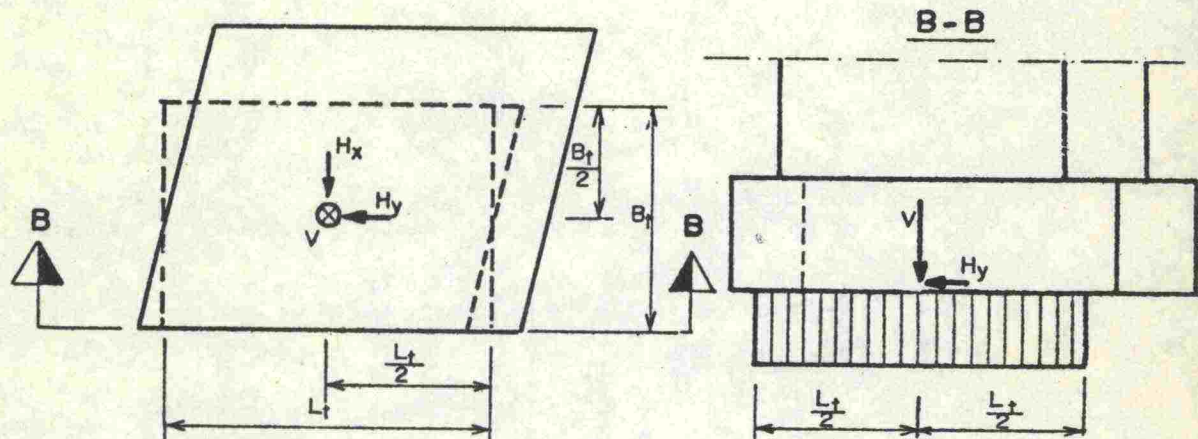
#### 8.43 Perustuksen tehokas pinta-ala

Epäkeskisesti kuormitetun perustuksen kantokyky ja painuma lasketaan standardin mukaisesti pystykuormien resultanttiin nähden symmetrisen ns. tehokkaan pinta-alan perusteella. Tämän alueen pohjapaine oletetaan tasaiseksi. Jos tehokas ala ei muodoltaan ole suorakulmio käytetään kohtien 8.2 ja 8.4 laskelmissa kuvien 7a ja 7b mukaisesti muodostettua pinta-alaltaan vastaavaa suorakulmiota.



Kuva 7a. Perustuksen tehokkaan pinta-alan  $A_t = B_t \times L_t$  määrittäminen. Perustus ympyrän muotoinen.





Kuva 7b. Perustuksen tehokkaan pinta-alan  $A_t = B_t \times L_t$  määrittäminen. Perustus suunnikkaan muotoinen.

#### 8.5 L i u k u v a r m u u s

Tarkistettaessa liukumisvaaraa perustuksen ja maapohjan välissä valitaan perustuksen ja maan välinen kitkakerroin  $\tan \delta$  standardin mukaisesti seuraavasti:

- maan varaan valettu tai rakennettu perustus:  $\tan \delta = \tan \phi$
- sileä elementtiperustus:  $\tan \delta = 0,75 \tan \phi$   
( $\phi$  = kitkakulman ominaisarvo)

Kohdan 6.41 mukaisen kuormayhdistelmän vaikuttaessa varmuuden liukumista vastaan tulee olla vähintään 1,5.

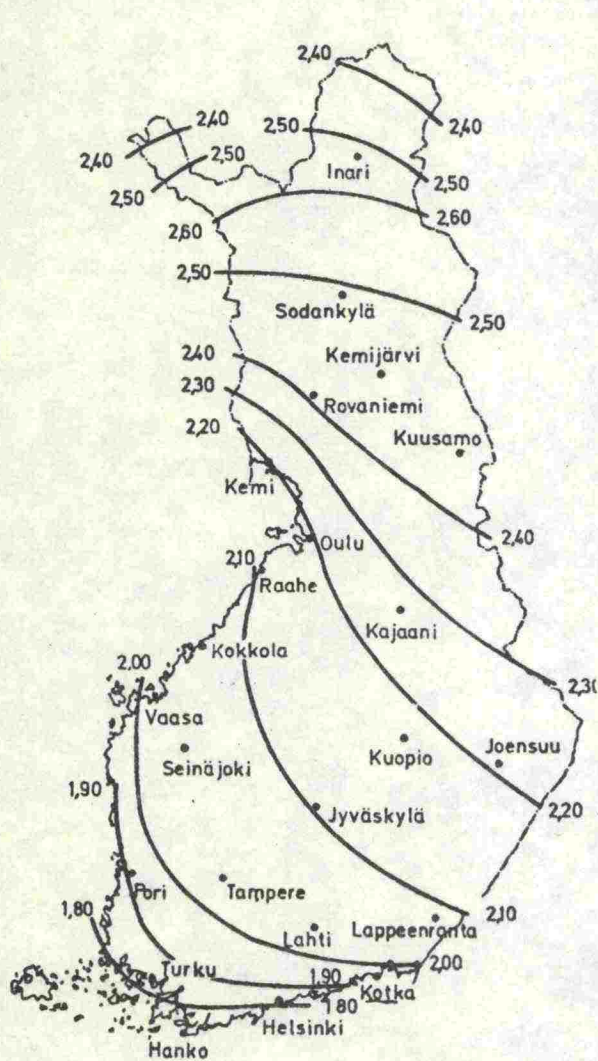
#### 8.7 R o u t i m a t o n p e r u s t u s s y v y y s

Routimattoman perustussyvyyden määrittämisessä ei siltojen yhteydessä voida ottaa huomioon lumen suojaavaa vaikutusta.

Kuvan 8a (standardin kuva 18) mukaista perustussyvyyttä, joka vastaa routivan perusmaan ominaisuuksia, voidaan yleensä käyttää kuivalle maalle tehtävien siltojen yhteydessä.

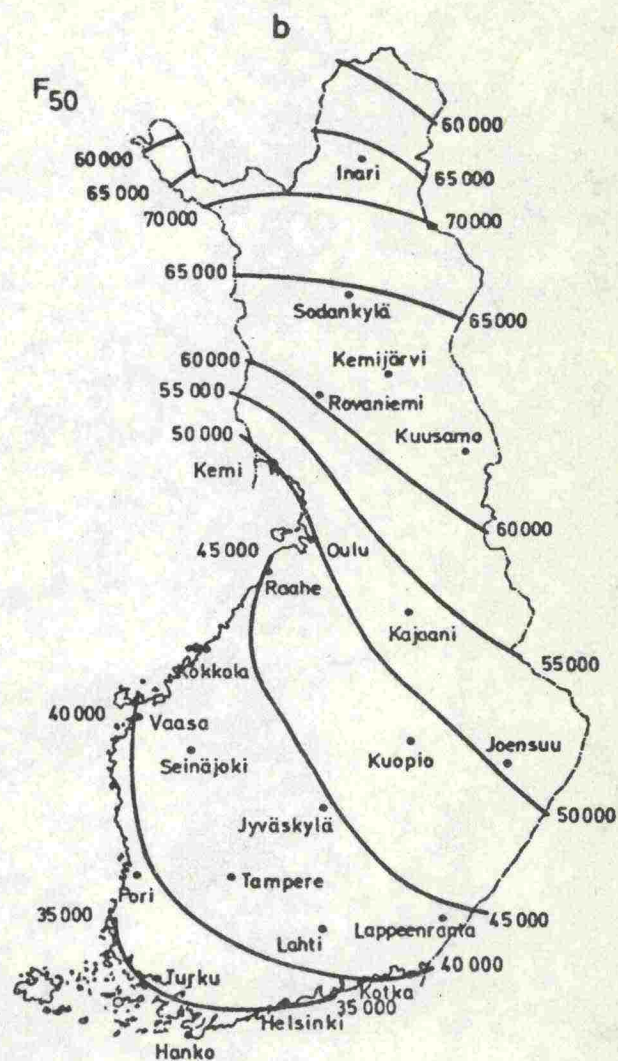


Jos siltatyypin on routimisesta aiheutuvista liikkeistä herkästi vaurioituva ja routasuojana toimiva maa-aines on hyvin karkeaa (esim. louhetta), on kuvan 8a mukainen perustussyvyys suurennettava 1,2-kertaiseksi, koska todellinen routasyvyys määräytyy täyttömateriaalin mukaisesti.



Kuva 8a

Kylmien rakenteiden perustusten keskimääräinen routimaton perustussyvyys.



Kuva 8b

Kerran 50 vuodessa toistuva pakkasmäärä,  $F_{50}$ ,  $h^{\circ}C$



Vesistösiltojen perustussyvyyttä voidaan pohjavedenpinnan korkeuden perusteella pienentää kuvien 9 ja 10 mukaisesti. Kuvista saadaan tavittava suojaetäisyys vedenpinnan aseman ja pakkasmäärän perusteella. Pakkasmäärä saadaan kuvasta 8b (standardin kuva 8b). Pohjavedenpinnan korkeudeksi voidaan yleensä olettaa uoman NW-taso. Jos talvikauden alin vedenkorkeus on luotettavasti selvitetty, voidaan sitä käyttää NW:n asemasta. Virtaavan veden sulana pitämässä uomassa perustussyvyys harkitaan tapauskohtaisesti. Kuvan 9 mukaisesti voidaan pienentää myös muiden kuin vesistösiltojen perustussyvyyttä, jos vapaan pohjavedenpinnan alin asema on luotettavasti selvitetty.

Silloissa, joiden suurin aukkomitta on 6,0 m, voidaan mitoittavaa pakkasmäärää pienentää taulukon 4 mukaisesti [14].

Taulukko 4. Silta-aukon koon vaikutus mitoittavaan pakkasmäärään

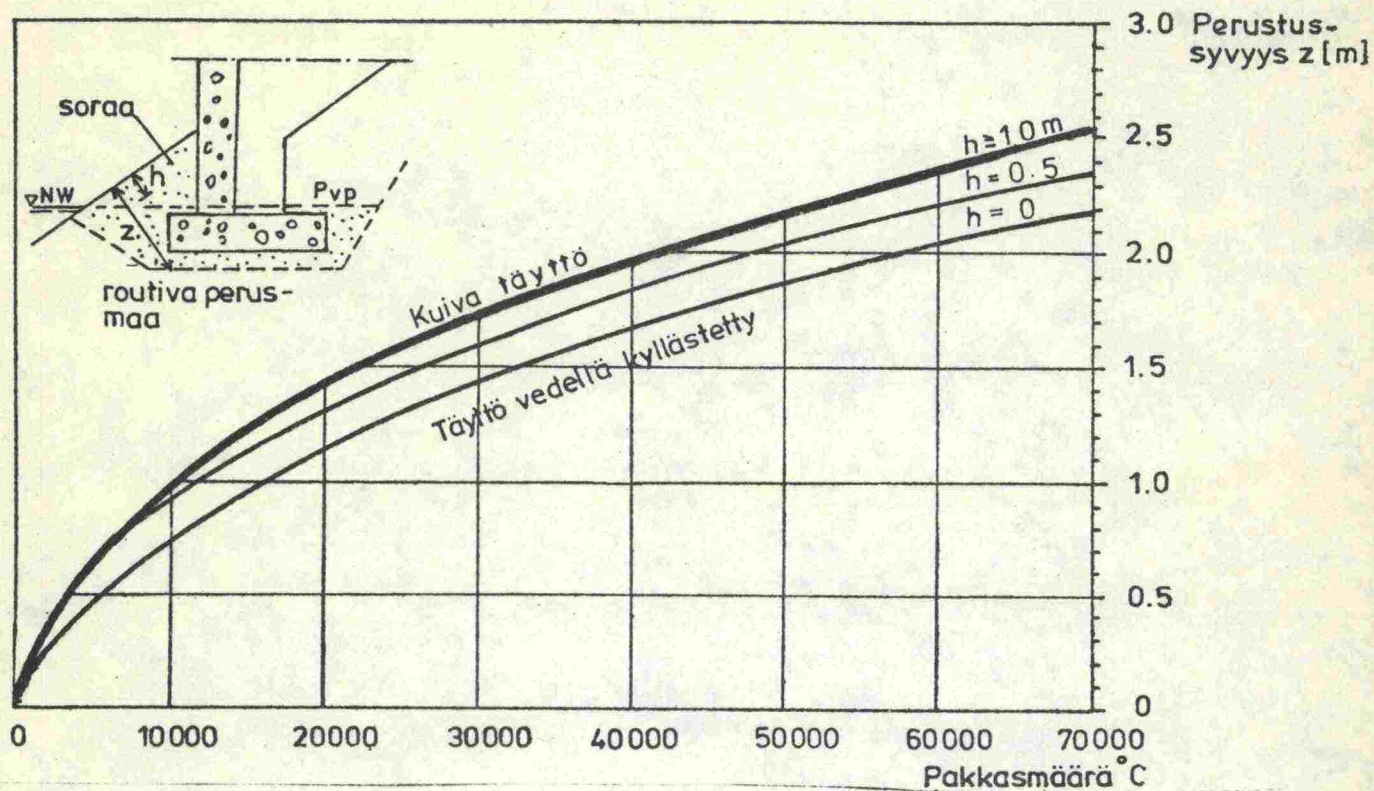
Aukkomitta	Mitoittava pakkasmäärä
2...4 m	0,7 · F <sub>50</sub>
4...6 m	0,9 · F <sub>50</sub>
6 m	1,0 · F <sub>50</sub>

Taulukon 4 ja kuvan 9 perusteella voidaan määrittää pieniauikkoisten siltojen routimaton perustussyvyys. Pakkasmäärä (F<sub>50</sub>) saadaan kuvasta 8b.

Tobi-siltojen, elementtiholvien ja aallotettujen teräsputkien routasuojaus on esitetty tyyppikohtaisissa suunnitteluohjeissa, joissa on otettu huomioon aukon koon vaikutus.

Lopullisen perustussyvyuden valinnassa on roudan lisäksi otettava huomioon kantavuuden ja eroosiosuojauksen asettamat vaatimukset.



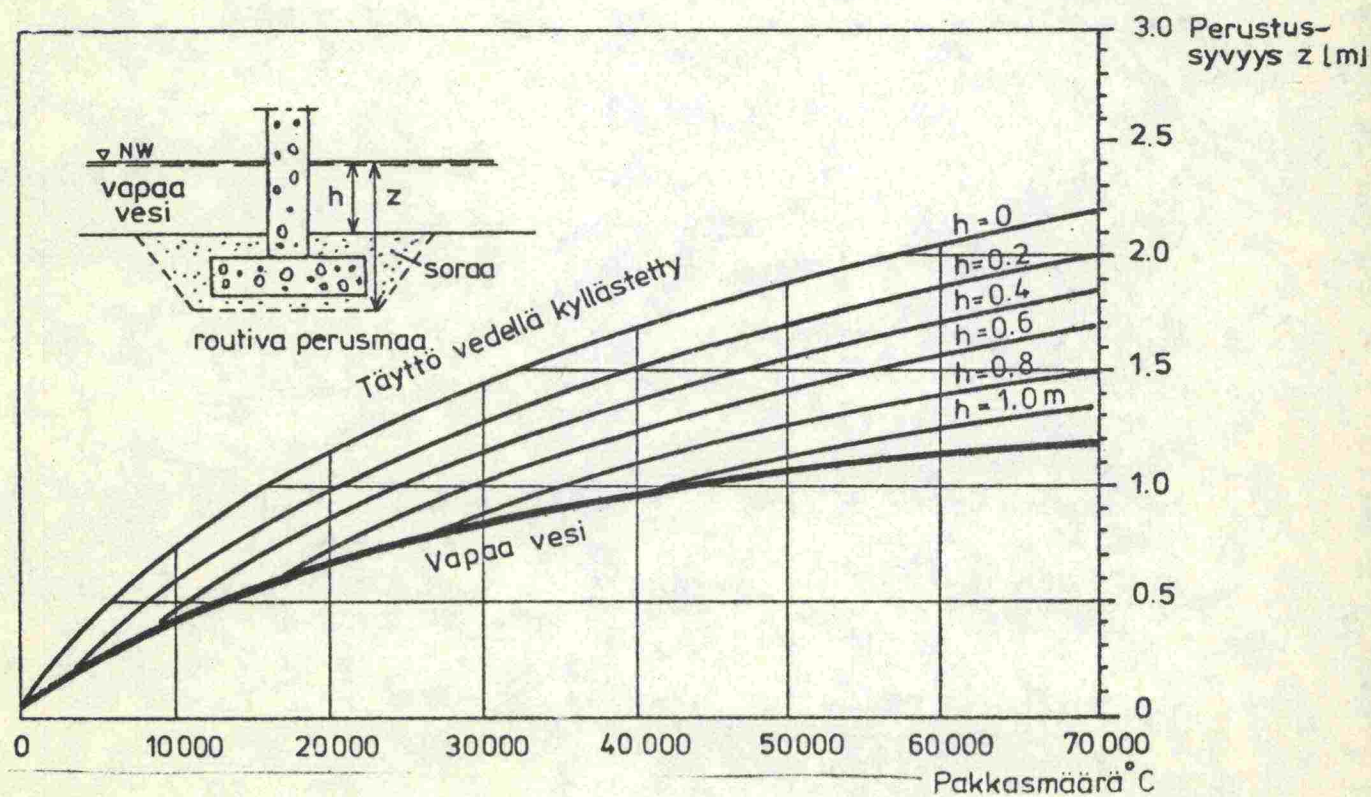


Kuva 9. Perustussyvyyden riippuvuus pohjavedenpinnan asemasta

$z$  = mitoittava suojaetäisyys

$h$  = pohjavedenpinnan yläpuolinen osuus  $z$ :sta

pohjavedenpinta = uoman NW-taso



Kuva 10. Perustussyvyyden riippuvuus vapaan veden syvyydestä

$z$  = mitoittava suojaetäisyys

$h$  = vapaan veden osuus  $z$ :sta



9. KALLIONVARAINEN PERUSTAMINEN

Kallionvaraisen perustuksen osalta osoitetaan, että sillä on vaadittu varmuus murtumista, kaatumista ja liukumista vastaan. Varmuutta osoitettaessa käytetään kohdan 6.41 mukaisesti muodostettua kuormayhdistelmää.

Varmuus murtumista vastaan on riittävä, ellei pohjarasitus laatan reunalla ylitä standardissa määriteltä kallon geoteknistä kantavuutta, kun pohjapaineen oletetaan jakautuvan kolmion muotoisesti.

Varmuus kaatumista ja liukumista vastaan on riittävä, jos rakenteen kokonaisvarmuus on vähintään 1,5.

10. PERUSTAMINEN PAALUILLA

10.1 P a a l u p e r u s t u k s e n s u u n n i t t e l u

Paaluperustusten suunnittelussa noudatetaan Suomen Geoteknillinen Yhdistys ry:n (SGY) julkaisuissa Lyöntipaalutusohjeet ja Suurpaaluohjeet esitetyjä periaatteita.

Siltojen paaluperustukset teräsbetonisia lyöntipaaluja käyttäen suunnitellaan pääsääntöisesti paalutusluokan II vaatimusten mukaan. Paalutusluokkaa III käytetään puupaalujen yhteydessä.

Paaluryhmää muodostettaessa tulee pyrkiä saamaan pysyvästä kuormasta johtuvat paaluvoimat mahdollisimman samansuuruisiksi.

Paaluvoimia paaluryhmässä laskettaessa voidaan yleensä tehdä seuraavat oletukset:

- paaluantura on täysin jäykkä
- paaluanturan ja maan välillä vaikuttavaa pohjapainetta ei oteta huomioon
- paalujen ympärillä oleva maamassa ei aiheuta paaluihin taivutusta



- paalut ovat päistään nivelellisesti kiinnitetyt
- paalut ovat tasapaksuja ja niiden materiaali noudattaa Hooken lakia

Paaluille sallittavien sijainti- ja suunta-poikkeamien vaikutus paalurasitukseen tulee ottaa huomioon paaluperustusta suunniteltaessa. Jos paalupituudet poikkeavat toisistaan huomattavasti on myös niiden vaikutus otettava huomioon paalurasituksia laskettaessa. Jos paalutusta ympäröivän maamassan kokoonpuristumisesta aiheutuu paaluihin toispuolista sivupainetta, on sen vaikutus paaluvoimiin ja paalujen saamiin taivutusrasitukseen erikseen tarkistettava.

Tarvittaessa on otettava huomioon paalujen kiinnityksen vaikutus paaluanturaan tai rakenteeseen sekä määritettävä paaluihin vaikuttavan normaalivoiman lisäksi paalujen saama taivutusmomentti, leikkausvoima ja mahdollinen vääntömomentti.

Paalujen muodonmuutoksien aiheuttamat perustuksen ja laakeritason siirtymät tulee määrittää. Kitkapaalujen kimmottomien siirtymien vaikutus tulee arvioida erikseen.

Paalun ja paaluryhmän nurjahtamismahdollisuus esiintyy tapauksissa, joissa paalua ympäröi suurelta osalta vesi, lieju tai maalaji, jonka sivuvastus on hyvin pieni. Nurjahduskuormaa laskettaessa saa väliaineen sivuvastuksen ottaa huomioon, mikäli se pohjatutkimuksen perusteella tunnetaan. Paalun nurjahduspituus arvioidaan pohjatutkimuksen perusteella. Niissä tapauksissa, joissa paalun nurjahdustarkastelu on tarpeellinen, on välttämätöntä ottaa huomioon myös paalun alkukäyrityksestä tai jatkoksissa esiintyvistä kulmanmuutoksesta johtuvat vaikutukset.

#### 10.5 Lyöntipaalujen geotekninen kantavuus

Lyöntipaalun geoteknisenä kantavuutena saa käyttää enintään 7 MPa teräsbetonisilla ja 5 MPa puisilla tukipaaluilla, kun



kuormayhdistelmä muodostetaan kohdan 6.41 mukaan. Lyöntipaalu-  
lujen geotekninen kantavuus kitka- ja koheesiopaaluina rat-  
kaistaan tapauskohtaisesti. Paalulle aiheutuvaan vetoon näh-  
den noudatetaan lyöntipaalutusohjeissa esitettyä suositusta.

#### 10.6 S u u r p a a l u n g e o t e k n i n e n k a n t a v u u s

Kallioon tai moreenikerrokseen tukeutuvan kaivinpaalun geo-  
teknisenä kantavuutena saa käyttää enintään 5 MPa, kun kuor-  
mayhdistelmä muodostetaan kohdan 6.41 mukaan. Kallioon tu-  
keutuvan kaivinpaalun geoteknisenä kantavuutena voidaan eri-  
tyistapauksissa käyttää suurempaa arvoa kuin 5 MPa.

Moreenikerrokseen tukeutuvan kaivinpaalun upotuspituutta  
Suurpaaluohjeiden mukaisesti määritettäessä moreeni ole-  
tetaan yleensä löyhäksi. Luotettavien tutkimusten perusteella  
moreeni voidaan luokitella keskitiiviiksi ja erityisistä syis-  
tä kaivinpaalun teon aikana tehtyjen tiiviyshavaintojen pe-  
rusteella myös tiiviiksi.

Kaivinpaalua ei saa käyttää siltarakenteissa koheesiopaaluna.  
Kaivinpaalun käyttämistä kitkapaaluna on pyrittävä välttä-  
mään.

### 13. M A A N P A I N E J A T U K I R A K E N T E E T

#### 13.1 M a a n p a i n e

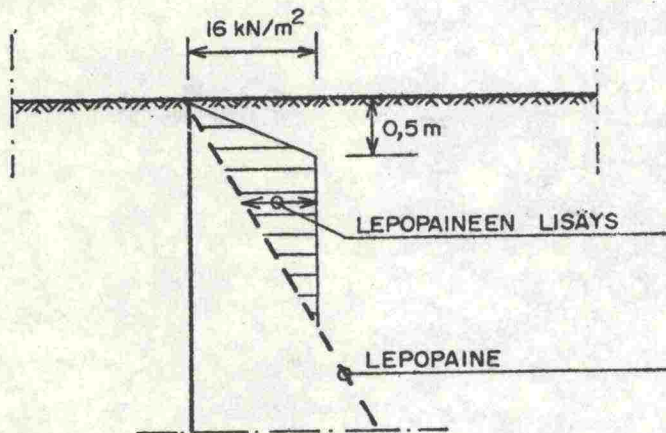
Sillan maatukeen penkereestä aiheutuvaa maanpainetta las-  
kettaessa käytetään pengertäytteen tilavuuspainona  $21 \text{ kN/m}^3$   
ja vastaavana kitkakulman ominaisarvona  $\phi = 38^\circ$ . Jos suun-  
nitelmassa on annettu erityisohjeita taustatäytteen materi-  
aalista, maanpaine lasketaan käyttäen kyseiselle materiaa-  
lille ominaisia kitkakulman ja tilavuuspainon arvoja.



Välitukeen kohdistuva maanpaine lasketaan käyttäen tilavuuspainolle ja kitkakulmalle arvoja, jotka vastaavat käytettävää materiaalia ja tiiviyyttä.

Sillan maatukeen tai välitukeen kohdistuva maanpaine lasketaan pääsääntöisesti lepopaineena, jonka oletetaan kasvavan suoraviivaisesti syvyyden kasvaessa ja vaikuttavan vaakasuorassa suunnassa. Lepopainelukuna käytetään  $K_0 = 1 - \sin \phi$ .

Maatuen taustan tiivistyksestä aiheutuva lepopaineen lisäys otetaan huomioon kuvan 11 mukaan



Kuva 11. Maatuen taustan tiivistyksestä aiheutuva lepopaineen lisäys

Jos määrävän vaikutuksen antaa pienempi maanpainekuorma, tarkistetaan mitoitus myös maanpaineelle, jonka suuruus on  $0,7 \times \text{lepopaine}$ .

Jos maanpinta on kalteva, lepopaineluku lasketaan kaavasta

$$K_{0\beta} = K_0 (1 + \sin \beta)$$

jossa

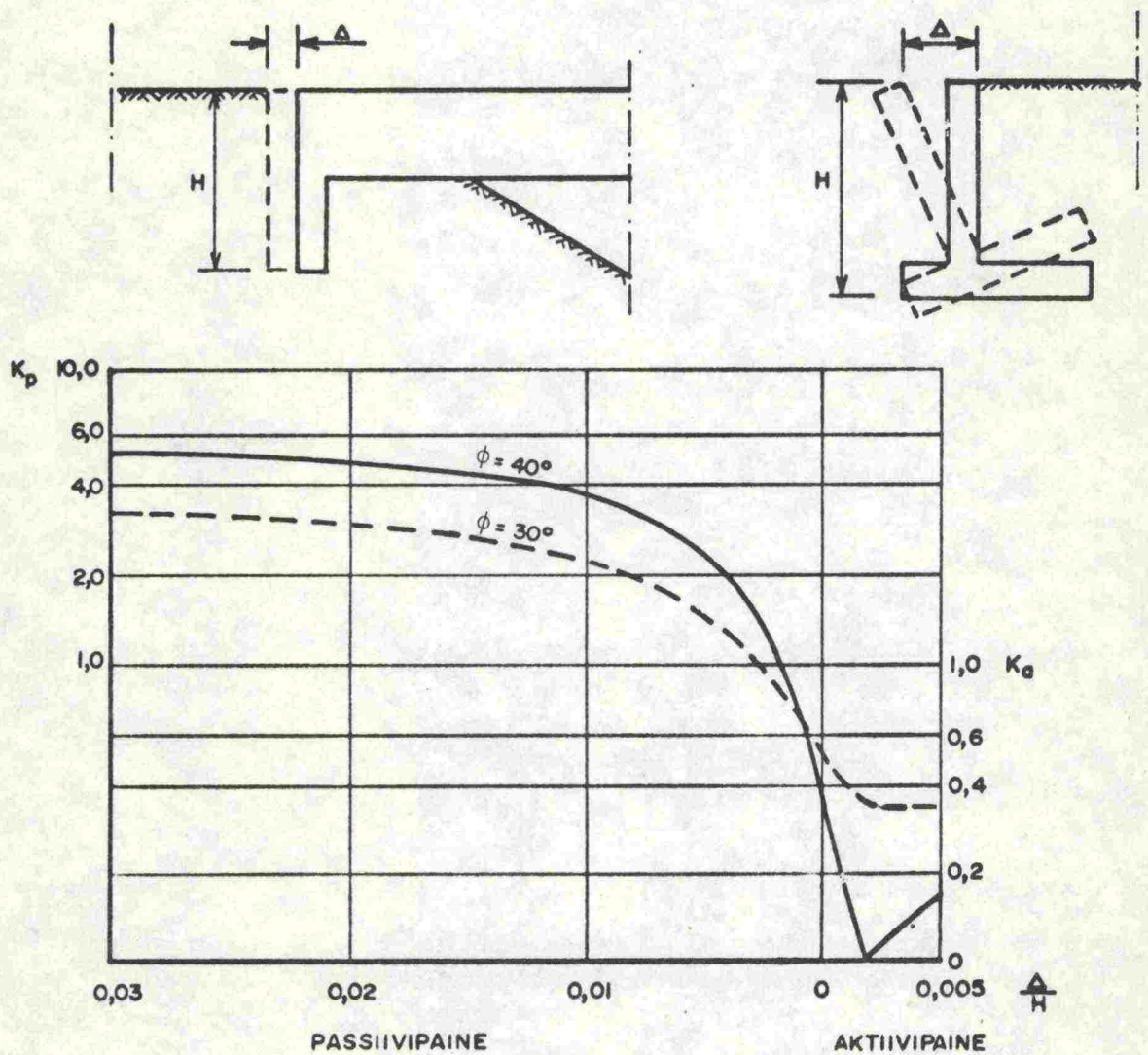
$\beta$  = maanpinnan kaltevuus asteina

Kaavassa  $\beta$  on positiivinen kun maanpinta laskee tukiseinää kohti.



Jos rakenne pakotetaan siirtymään maata vastaan, voidaan olettaa standardin mukaisesti, että täysi passiivipaine on kehittynyt, kun siirtymä on 2 % seinämän korkeudesta. Kun passiivista maanpainetta käytetään hyväksi rakenteen tukemiseen, on sen suuruus otaksuttava tärinän vuoksi vähintään 20 % teoreettista arvoa pienemmäksi.

Kuvassa 12 on esitetty esimerkki siirtymän ja maanpaineen välisestä riippuvuudesta [13].



Kuva 12. Esimerkki rakenteen siirtymän ja maanpaineen välisestä yhteydestä [13].



Maan sisässä olevaa paalua tai pilaria voidaan mitoitus- sessa vaakasuunnassa käsitellä kimmoisella alustalla ole- van palkin teorian mukaan. Paaluun kohdistuvan maanpaineen  $p_z$  ja paalun ja maan välisen suhteellisen siirtymän  $y$  vä- listä riippuvuutta kuvataan alustaluvulla  $k_s$  siten, että  $p_z = k_s y$ . Alustaluku voidaan määrittää taulukon 5 ja kuvan 13 perusteella. Alustaluku valitaan kussakin suunnittelu- tilanteessa siten, että sen epäedullisin vaikutus rakenteen kuormitukseen tulee huomioon otetuksi.

Taulukko 5. Maan vaakasuoran alustaluvun arvoja

Maa, kuormitustapa	Yläraja	Alaraja
Kitkamaa	$k_s = \frac{n_h \cdot z}{d}$	$k_s = \frac{0,5n_h \cdot z}{d}$
Koheesiomaa, pitkäaikai- nen kuormitus	$k_s = \frac{50s_u}{d}$	$k_s = 0$
Koheesiomaa, lyhytaikai- nen kuormitus	$k_s = \frac{150s_u}{d}$	$k_s = \frac{50s_u}{d}$

$k_s$  = maan vaakasuora alustaluku,  $\text{kN/m}^3$

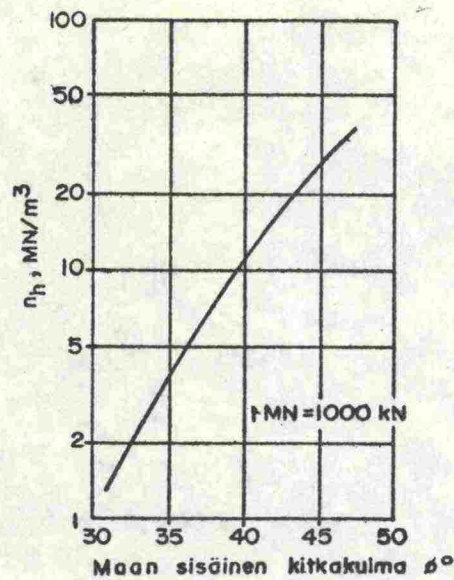
$z$  = syvyys maanpinnasta, m

$d$  = paalun halkaisija, m

$s_u$  = maan suljetun tilan leikkauslujuus,  $\text{kN/m}^2$

$n_h$  = vaakasuoran alustaluvun kerroin, joka riippuu maan ra-  
kenteellisesta tiiviyydestä,  $\text{kN/m}^3$  (kuva 13)



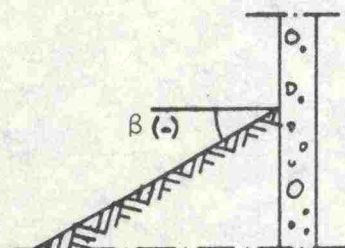


Kuva 13 Vaakasuoran alustaluvun kerroin  $n_h$  kitkamaassa pohjavedenpinnan yläpuolella. Pohjavedenpinnan alapuolella  $n_h = 40\%$  kuvan arvoista.

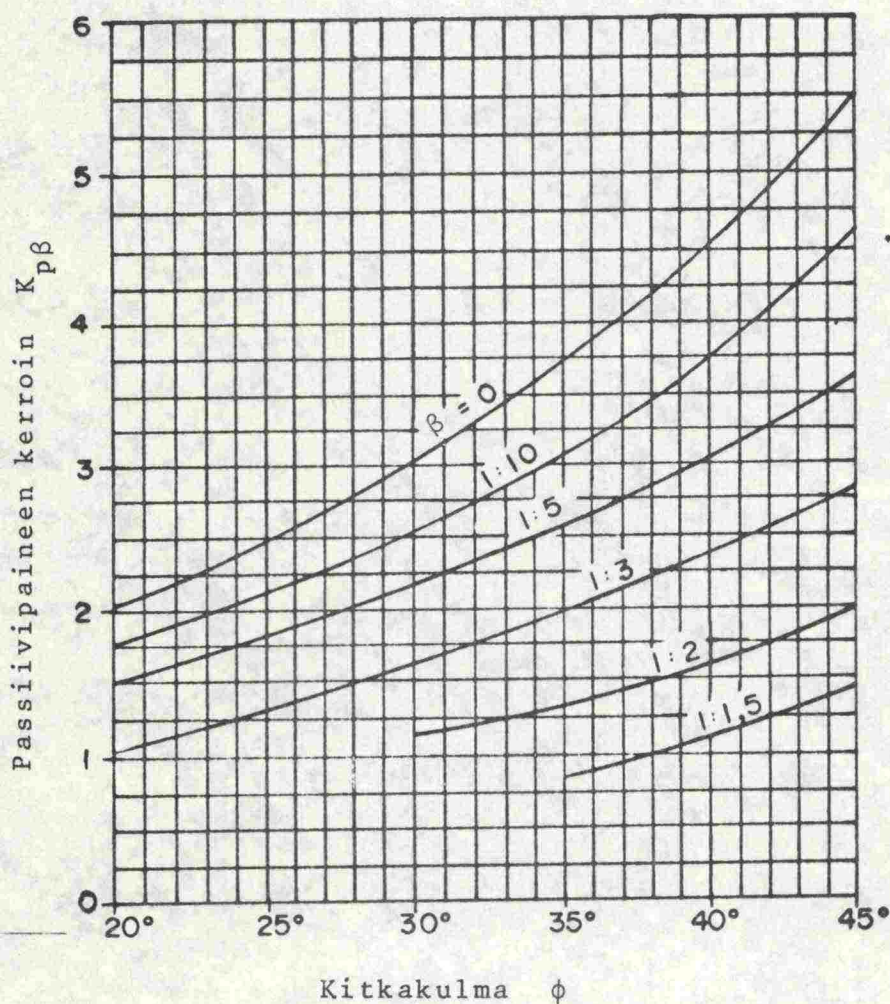
Paaluun kohdistuvan maanpaineen raja-arvona on paalun kolminkertaiselle leveydelle laskettu passiivinen maanpaine.

Kun maanpinta on kalteva muutetaan alustaluvun arvoa kitkamaassa samassa suhteessa kuin passiivinen maanpaine muuttuu. Kuvassa 14 on esitetty passiivipaineen kertoimen arvoja  $K_{p\beta}$  eri luiskien kaltevuuksille.





$$K_{p\beta} = \frac{\cos^2 \phi}{\left[1 - \sqrt{\frac{\sin \phi \cdot \sin (\phi + \beta)}{\cos \beta}}\right]^2}$$



Kuva 14. Passiivinen maanpaineluku ( $K_{p\beta}$ ) luiskan kaltevuuden funktiona



## KIRJALLISUUSLUETTELO

### MAA- JA KALLIOPERÄ

1. Helenelund, K.V., Moreenimaalajien kantavuusominaisuuksista. VTT, sarja III - rakennus 79, Helsinki 1964
2. Helenelund, K.V., Kitkamaalajien kantavuusominaisuuksista. VTT, sarja III - rakennus 97, Helsinki 1966
3. Tamminen, M., Kitkamaalajien rakenne ja kokoonpuristuvuus. VTT, sarja III - rakennus 136, Helsinki 1969
4. Valkeisenmäki, A., Rakeisuuden vaikutus hiekan ja soran painumis- ja tiiveysominaisuuksiin. VTT, Geotekniikan laboratorio, tiedonanto 10, 1973

### MAANVARAISET ANTURA- JA LAATTAPERUSTUKSET

5. DIN 4017 (Teil 1, Teil 2), Grundbruchberechnungen 1979
6. DS 415, Dansk Ingeniørforenings norm. for Fundering, 2 udg., 1977
7. PTL, jaosto 60, Suomen liite siltojen päätytukien suunnittelua ja rakentamista koskevaan suositukseen, TVH 722029, 1974
8. RIL 95, Pohjarakennus 1974. Luku 3.32 Kantavuus ja luku 3.6 Maan painuminen
9. Brinch Hansen, J., A Revised Extended Formula for Bearing Capacity, Copenhagen 1970. The Danish Geotechnical Institute, Bulletin No. 28.
10. Mandel, J. - Salencon, J., Force portante d'un sol sur une assise rigide (etude theorique), Geotechnique 22, No. 1.
11. Pfeifle, T.W. - Das, B.M., Bearing Capacity of surface Footings on Sand Layer Resting on a Rigid Rough Base. Soils and Foundations. Vol. 19, No.1, 1979. Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering
12. Winterkorn, H.F. - Fang, Hsai-Yang, Foundation Engineering Handbook, 1975. Part 3. Bearing Capacity of Shallow Foundations.



13. Burland, B.J. - Hambley, E.C., Bridge foundations and substructures. Building Research Establishment. London 1979
14. Norges teknisk-naturvitenskapelige forskningsråd og statens vegvesens utvalg for Frost i jord. Sikring mot teleskader. Sluttrapport nr. 17, Nov. 1976, Oslo.
15. TVH Maatutkimustoimisto, Vakavuusanalyysi, ohjelma MT 51, Käyttäjän ohje, TVH 732130, 1978

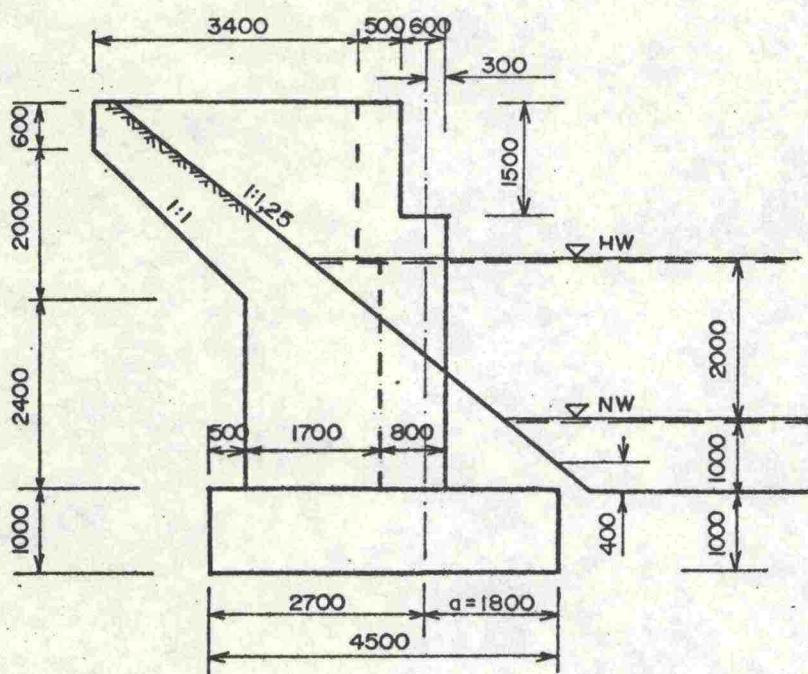


LASKENTAESIMERKKI 1

MAANVARAINEN SILLAN MAATUKI

MITAT

1.



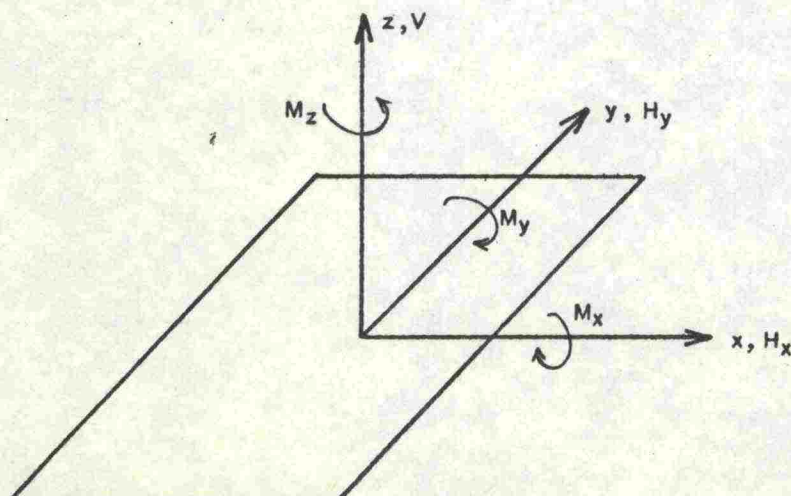
MAATUEN LEVEYS 9,0 M

PERUSLAATTA  
B x L = 4,5 x 10,0 M

SIIPIMUURIN PAKSUUS 0,40 M

Perusmaa: Tiivis hiekka,  $\phi = 36^\circ$

Maatuki sijoitetaan koordinaatistoon, jonka origo sijaitsee laakerilinjalla peruslaatan alapinnan tasossa. X-akseli on laatan sivun B suuntainen. Akselien ja voimasuureiden positiiviset suunnat ovat oheisen kuvan mukaiset.





## 2. KUORMAT JA MAATA KOSKEVAT ARVOT

### 2.1 Kuormat

Yhteenveto kuormista on esitetty taulukossa 1. Siinä on esitetty myös kuormien yhdistelykertoimet murtovarmuustarkastelussa  $\psi_1$  ja liukuvarmuustarkastelussa  $\psi_2$ .

### 2.2 Maata koskevat arvot

Sillan taustan täytteen paino lasketaan käyttäen täytteen tilavuuspainona  $21 \text{ kN/m}^3$ . Vastaava kitkakulman ominaisarvo on  $\phi = 38^\circ$ . Maanpaine lasketaan käyttäen kitkakulman ominaisarvoa.

Perustuksen kantavuus lasketaan käyttäen kitkakulman laskenta-arvoa  $\phi_n$ , joka saadaan ottamalla huomioon kitkakulmaa koskeva varmuuskerroin  $\gamma_\phi = 1,3$ . Kerroin on otettu huomioon laskettaessa taulukossa 3 annettuja arvoja  $N_q$  ja  $N_\gamma$ .



Taulukko 1. Yhteenvedo kuormista ja yhdistelykertoimet

Kuorma	V (MN)	$H_x$ (MN)	$M_y$ (MNm)	$H_y$ (MN)	$M_x$ (MNm)	Yhdistelykerroin	
						$\psi_1$	$\psi_2$
1. Oma paino	- 2,09		- 1,05				
2. Täyte	- 2,26		- 3,02				
3. Päällysrakenne	- 2,37						
4. Maanpaine							
- Lepopaine 1)		+ 1,46	+ 3,19				
- 70 % lepopaineesta 1)		(+ 1,02)	(+ 2,23)				
5. Veden noste (NW)							
- Oma paino	+ 0,53		+ 0,23				
- Täyte	+ 0,26		+ 0,18				
- Maanpaine		- 0,06	- 0,04				
Pysyvät kuormat	- 5,93	+ 1,40 (+ 0,96)	- 0,51 (- 1,47)			1	1
6. Liikennekuorma							
- Pystysuora kannella 2)	- 1,32				+ 1,65	1	
- Raskas erikoiskuorma 2)	- 1,22				+ 2,44		
- Pystysuora penkereellä	- 0,27		- 0,47		+ 0,14		
- Maanpaine liikenteestä		+ 0,33	+ 1,00			1	1
- Jarrukuorma		+ 0,18	+ 0,82			0,5	0,5
7. Laakerikitka		+ 0,12	+ 0,55			0,5	0,5
8. Veden noste (HW-NW)							
- Oma paino	+ 0,17		+ 0,05				1
- Täyte	+ 0,35		+ 0,52				1
- Maanpaine		- 0,17	- 0,26				1
9. Sivusysäys				+ 0,05	+ 0,20	0,5	0,5
10. Tuulikuorma				+ 0,04	+ 0,18	0,5	0,5

1) ja 2) Keskenään vaihtoehtoisia kuormia



### 3. PAINUMATARKASTELU

Lasketaan pohjapaine tehokkaalle pinta-alalle pysyvästä kuormasta ja pystysuorasta liikennekuormasta. Saatua arvoa verrataan sovellutusohjeen taulukon 2 arvoihin. Jos pohjapaine on siinä esitettyä raja-arvoa suurempi on painuma laskettava.

Kuormien epäkeskisyys

$$V = -7,52 \text{ MN}$$

$$M_y = -0,98 \text{ MNm}$$

$$e = \frac{-0,98}{7,52} = -0,130 \text{ m}$$

$$L_t = 10,0 \text{ m}$$

$$B_t = 2 (1,8 + 0,130) = 3,860 \text{ m}$$

$$\sigma_o = \frac{7,52}{10 \cdot 3,86} = 0,195 \text{ MN/m}^2 < 0,30 \text{ MN/m}^2$$

Painuman laskeminen ei ole tarpeellista.

### 4. KANTAVUUSTARKASTELU

#### 4.1 Tarkastelun sisältö

Kantavuustarkastelulla osoitetaan, ettei perustuksen tehokkaalle pinta-alalle laskettu pohjapaine ylitä kantavuuskaavalla saatua perustuksen kantavuutta.

Kantavuuskaava:

$$p = \gamma_1 D N_q s_q i_q + \gamma_2 B_t N_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

Koska perustuksen pidemmän sivun suuntaiset kuormat ovat merkitykseltään vähäisiä, on tässä tapauksessa tarpeen suorittaa tarkastelu vain perustuksen lyhyemmän sivun suunnassa.



Laskennassa käytettävät arvot:

$$L_t = 2 \left( 5 - \frac{M_x}{V} \right)$$

$$s_q = 1 + \sin \phi_n \frac{B_t}{L_t}$$

$$B_t = 2 \left( a - \frac{M_y}{V} \right)$$

$$s_y = 1 - 0,3 \frac{B_t}{L_t}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$i_q = \left( 1 - 0,7 \frac{H_x}{V} \right)^3$$

$$\gamma_1 = 11 \text{ kN/m}^3$$

$$i_y = \left( 1 - \frac{H_x}{V} \right)^3$$

$$\gamma_2 = 11 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 36^\circ$$

$$\phi_n = 29,2^\circ$$

$$N_q = 16,8$$

$$N_y = 8,8$$

#### 4.2 Määräävä kuormayhdistelmä

Laskennassa käytetään määräävää kuormayhdistelmää. Alustavilla laskelmillä on todettu, että määräävä kuormayhdistelmä aiheutuu kohdan 6.41 yhdistelysäännön puitteissa seuraavasti:

Täydellä arvolla vaikuttavat

- pysyvät kuormat
- pystysuora liikennekuorma kannella
- maanpaine liikennekuormasta

Puolella arvolla vaikuttavat

- jarrukuorma x-suunnassa
- laakerikitka x-suunnassa
- sivusysäys y-suunnassa
- tuulikuorma y-suunnassa



#### 4.3 Pohjapaineen laskeminen

Kuormat määräävässä kuormayhdistelmässä (yhdistelykerroin  $\psi_1$ )

$$V = -7,25 \text{ MN}$$

$$H_x = 1,88 \text{ MN}$$

$$M_y = 1,18 \text{ MNm}$$

$$M_x = 1,84 \text{ MNm}$$

Kuormien epäkeskisyyys

$$e_x = \frac{1,18}{7,25} = 0,163 \text{ m}$$

$$e_y = \frac{1,84}{7,25} = 0,254 \text{ m}$$

Tehokas pinta-ala

$$B_t = 2 (1,8 - 0,163) = 3,274 \text{ m}$$

$$L_t = 2 (5,0 - 0,254) = 9,492 \text{ m}$$

$$A_t = B_t \times L_t = 31,08 \text{ m}^2$$

Pohjapaine tehokkaalle pinta-alalle

$$\sigma = \frac{7250}{31,08} = 233,3 \text{ kN/m}^2$$



#### 4.4 Kantavuuden laskeminen

Perustuksen muodosta johtuvat kertoimet  $s_q$  ja  $s_\gamma$ .

$$s_q = 1 + \sin 29,2^\circ \cdot \frac{3,274}{9,492} = 1,168$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{3,274}{9,492} = 0,896$$

Kuormien resultantin kaltevuudesta johtuvat kertoimet

$i_q$  ja  $i_\gamma$

$$i_q = (1 - 0,7 \cdot \frac{1,88}{7,25})^3 = 0,548$$

$$i_\gamma = (1 - \frac{1,88}{7,25})^3 = 0,406$$

Perustuksen kantavuus

$$p = 11 \cdot 1 \cdot 16,8 \cdot 1,168 \cdot 0,548 + 11 \cdot 3,274 \cdot 8,8 \cdot 0,896 \cdot 0,406$$

$$= 118,3 + 115,3 = 233,6 \text{ kN/m}^2$$

$$p = 233,6 > \sigma = 233,3 \text{ kN/m}^2$$

Varmuus maapohjan murtumista vastaan on riittävä

#### 5. LIUKUVARMUUSTARKASTELU

Liukuvarmuustarkastelulla osoitetaan, että rakenteella on riittävä varmuus liukumista vastaan. Riittävä varmuus saavutetaan kun kitkakertoimella kerrottujen pystykuormien summa on vähintään 1,5ertainen vaakakuormiin nähden.

Kitkakerroin maan ja peruslaatan välillä otaksutaan olevan  $\tan \phi$ , jolloin ehto riittävälle liukuvarmuudelle on

$$\frac{\tan \phi \cdot V}{\sqrt{H_x^2 + H_y^2}} \geq 1,5$$



Vaarallisin kuormayhdistelmä kohdan 6.41 yhdistelysäännön puitteissa on seuraava:

Täydellä arvolla vaikuttaa

- pysyvät kuormat
- maanpaine liikennekuormasta
- veden noste (NW-HW)

Puolella arvolla vaikuttaa

- jarrukuorma
- laakerikitka
- sivusyväys
- tuulikuorma

Kuormat määräävässä kuormayhdistelmässä (yhdistelykerroin  $\psi_2$ )

$$V = -5,41 \text{ MN}$$

$$H_x = 1,71 \text{ MN}$$

$$H_y = 0,19 \text{ MN}$$

$$\tan \phi = 0,727$$

$$\frac{0,727 \times 5,41}{\sqrt{1,71^2 + 0,19^2}} = 2,29 > 1,50$$

Varmuus liukumista vastaan on riittävä.

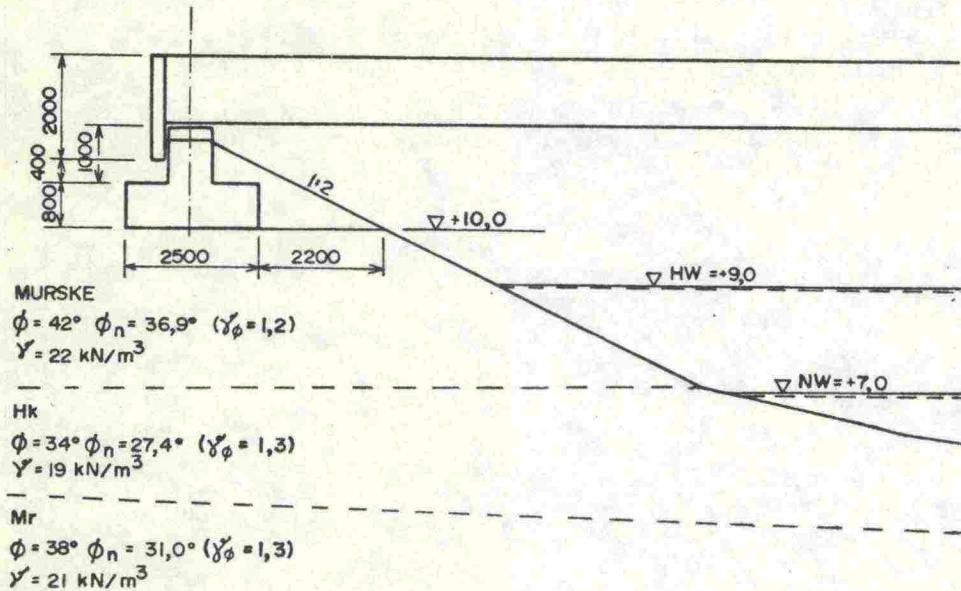


LASKENTAESIMERKKI 2.

PENKEREEN VARAAN PERUSTAMINEN: VAKAVUUSLASKENTA

1. SILTATYYPPI, PERUSTUKSEN MITAT JA KUORMAT

Jännitetty elementtisilta I (JbeI), L=24 m



Kuva 1.

Kuorma	V (MN)	H <sub>x</sub> (MN)	M <sub>y</sub> (MNm)	M <sub>x</sub> (MNm)	Yhdiste- lyker- roin
1. Päätytuki	- 0,635		0		
2. Täyte	- 0,230		- 0,193		
3. Päällysrakenne	- 2,200		0		
4. Maanpaine		0,349	0,157		
Pysyvät kuormat	- 3,065	0,349	- 0,036	0	1
5. Liikennekuorma					
- Pystysuora kannella	- 1,284		0	1,605	1
- Raskas erikoiskuorma	- 1,142		0	2,570	
- Pystysuora penkereellä	- 0,145		- 0,122		0,5
- Maanpaine liikenteestä		0,067	0,040		0,5
- Jarrukuorma		± 0,085	± 0,102		0,5
6. Laakerikitka		{ +0,117 - 0,059	{ + 0,140 - 0,070		1

Kuormien koordinaatisto kuten laskentaesimerkissä 1.



Kuormat yhdistellään kohdan 6.41 mukaisesti.

Kuormat määräävässä kuormayhdistelmässä

$$\begin{array}{ll} V &= -4,422 \text{ MN} \\ H_x &= 0,542 \text{ MN} \\ M_y &= 0,114 \text{ MNm} \\ M_x &= 1,605 \text{ MNm} \end{array} \quad \begin{array}{ll} e_x &= \frac{0,114}{4,422} = 0,026 \text{ m} \\ e_y &= \frac{1,605}{4,422} = 0,363 \text{ m} \end{array}$$

Anturan tehokas pinta-ala

$$\begin{array}{ll} B_t &= 2,448 \text{ m} \\ L_t &= 9,274 \text{ m} \\ A_t &= 22,70 \text{ m}^2 \end{array}$$

Pohjapaine

$$\sigma = \frac{4,422}{22,70} = 0,195 \text{ MN/m}^2$$

Vaakavoima

$$H = \frac{H_x}{L_t} = \frac{0,542}{9,274} = 59 \text{ kN/m}$$

## 2. MAAPERÄ

Maatuki perustetaan tiivistetyn mursketäytteen varaan. Täytteen alla on keskittiivistä hiekkaa ja tiivistä moreenia. Ku-  
vassa 1. on esitetty kerrosrajat ja suunnitteluparametrit.

## 3. VAKAVUUSTARKASTELU

Vakavuustarkastelu on suoritettu liukupinta-analyysillä käyttäen Bishopin menetelmää ja TVH:n tietokoneohjelmaa MT 51 [15].

Lähtötietolomakkeiden täyttöohjeet on esitetty ohjelman käyttäjän ohjeessa [15]. Sivulla 4 on esitetty laskentaesimerkin täytetyt lähtöarvolomakkeet.



Maakerrosrajat annetaan janoina lomakkeella 2. Janojen numeerointi käy ilmi kuvasta 2. Matalilla maatuilla penkereen pinta voidaan laskelmissa olettaa anturan alapinnan (jana 1.) tasolle.

Maakerrosten ominaisuudet annetaan lomakkeella 2. Kitkakulman varmuuskertoimina on kohdan 6.41 mukaisesti käytetty täytteelle arvoa  $\gamma_{\phi} = 1,2$  ja muille maakerroksille arvoa  $\gamma_{\phi} = 1,3$ .

Pystysuorana kuormana on käytetty anturan tehokkaalle alalle laskettua keskimääräistä pohjapainetta ( $\sigma_0 = 195 \text{ kN/m}^2$ ). Se on annettu maakerrosjanalla 7.

Vaakakuormana käytetään anturan 1 m:n levyiselle kaistalle laskettua vaakavoimaa ( $H = 59,0 \text{ kN/m}$ ). Se annetaan lomakkeella 3.

Vesipinta on sijoitettu HW:n tasolle ja annetaan lomakkeella 2.

Liukupinnat on oletettu kulkemaan anturan tehokkaan alan takareunan kautta.

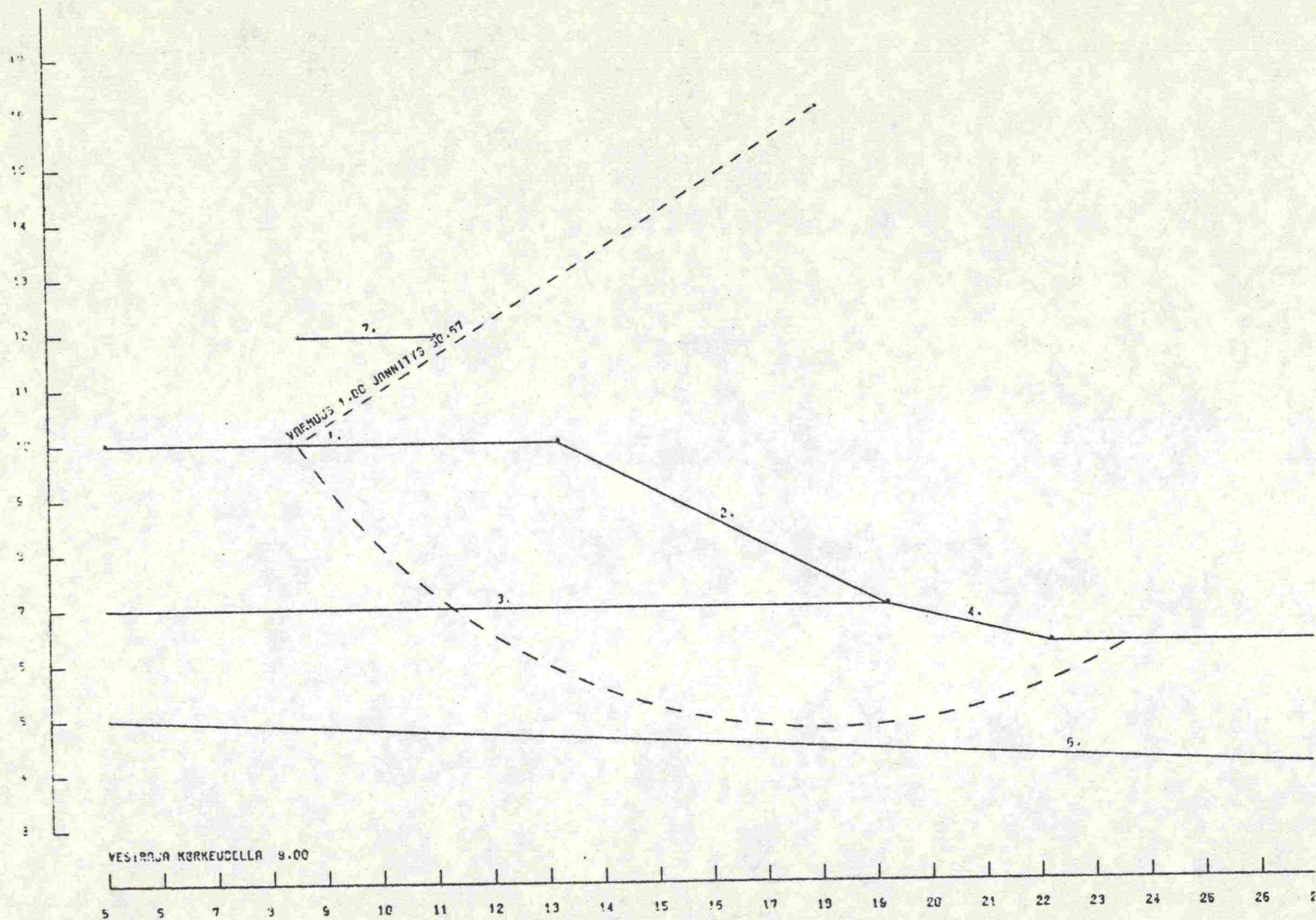
Tulostuksena saadaan varmuuskertoimen arvot kaikille lasketuille liukupinnoille. Piirturituloksessa on esitetty maakerrosrajat ja vaarallisin liukupinta (kuva 2).

Vaarallisimman liukupinnan varmuudeksi on laskentaesimerkissä saatu  $F = 1,00 \geq 1,0$ , joten päätytuen vakavuus on riittävä.









Kuva 2. Piirturitulostus



## LASKENTAESIMERKKI 3

## PAINUMAN LASKEMINEN

## 1. MITAT JA KUORMAT

Perustuksen leveys  $B = 2,0$  m ja pituus  $L = 20,0$  m. Laatan tehokas ala on  $1,9 \times 20,0 \text{ m}^2$ . Pysyvistä kuormista ja pystysuorasta liikennekuormasta aiheutuva pohjapaine on  $106 \text{ kN/m}^2$  tehokkaalle alalle laskettuna.

## 2. MAAPERÄ

Perutamistason alapuolinen maa on hienoaainespitoista hiekkaa ja silttiä. Rakeisuuden ja kairausvastuksen perusteella maa on jaettu geoteknisesti tasalaatuisiin kerroksiin, joiden tilavuuspaino  $\gamma (\gamma')$  ja moduuliluku  $m$  on arvioitu ohjeen taulukon 1 avulla.

Laskelman tarkentamiseksi on yksi kerroksista jaettu kahteen osaan 3 ja 4. perustamisolosuhteet on esitetty liitteen kuvassa.

## 3. PAINUMAN LASKEMINEN

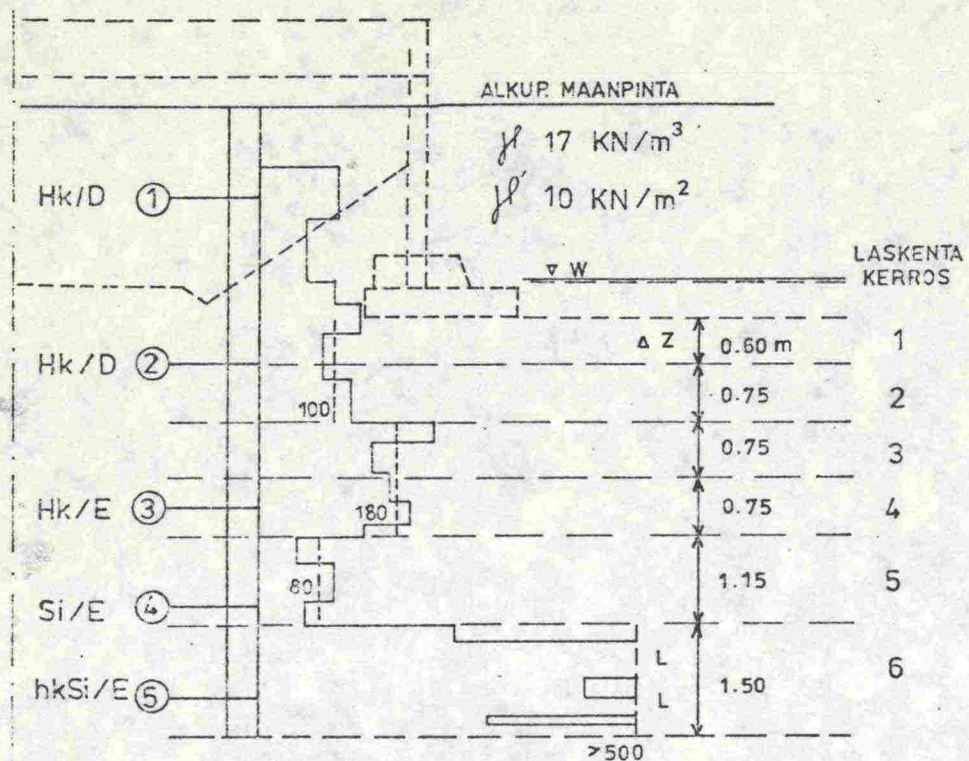
Laskentakerrosten suhteellinen kokoonpuristuma lasketaan kaavalla

$$\epsilon_z = \frac{0,2}{m_z} (\sqrt{\sigma_z} - \sqrt{\sigma_{cz}})$$

Laskelmassa tarvitaan kunkin kerroksen tehokas esikuormitus  $\sigma_{cz}$  sekä pystysuora kokonaisjännitys  $\sigma_z = \Delta\sigma_z + \sigma_{cz}$ . Perustuksen kuormasta aiheutuva tehokas lisäjännitys  $\Delta\sigma_z$  saadaan määritettyä eri syvyyksillä ohjeen kuvan 6 avulla. Painuman laskenta on tässä esimerkissä esitetty taulukon muodossa ja jännitysten jakautuminen maassa on esitetty kuvassa.

Laskelma antaa painuman suuruudeksi  $1,76 \text{ cm}$ .



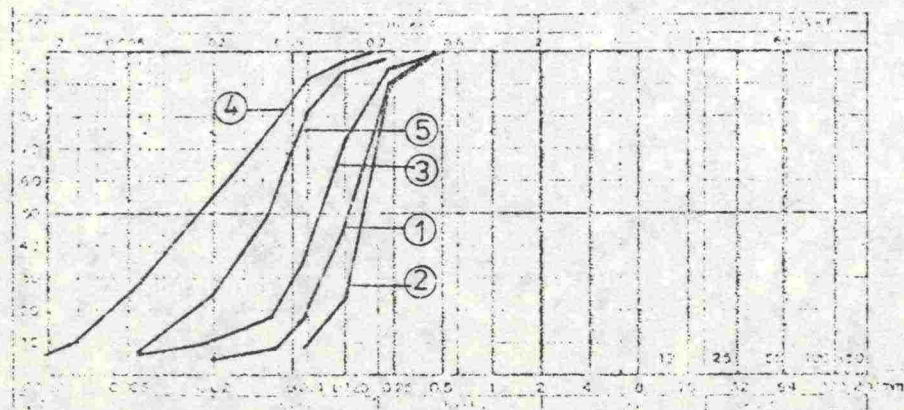
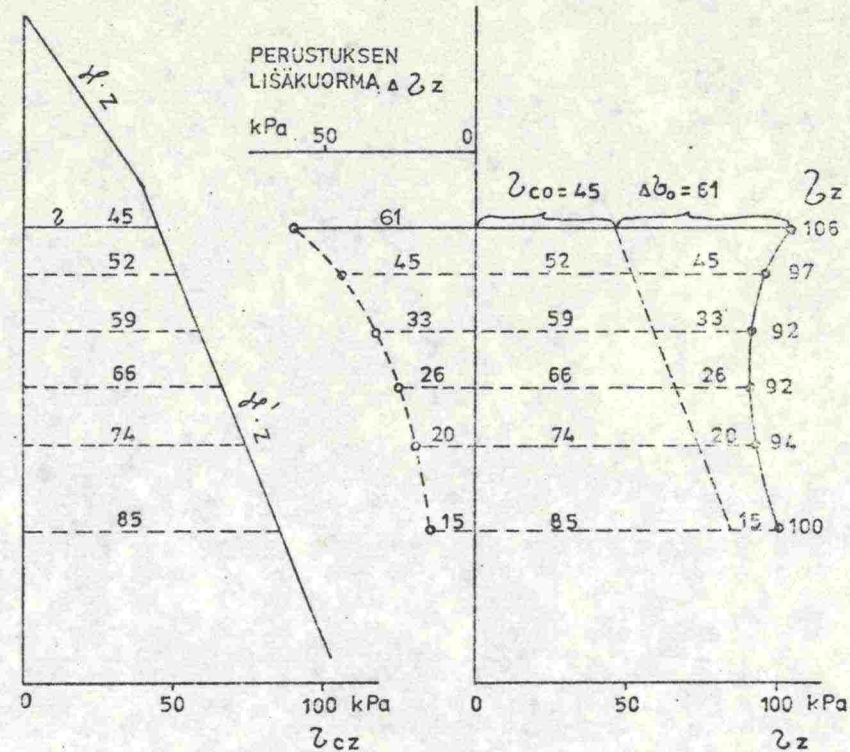


KOKOONPURISTU-  
VUUDEN ARV. MO-  
DULILUKU m

- m = 200
- m = 100
- m = 120
- m = 120
- m = 40
- m = 300

TEHOKAS ESI-  
KUORMITUS  $\sigma_{cz}$

PYSTYSUORA KOKONAIS-  
JÄNNITYS  $\sigma_z$



NÄYTE	OTTOSSYVYYS	MAALAJI	W %
1	0 - 1.2	Hk/D	26.1
2	1.2 - 3.4	Hk/D	30.2
3	3.4 - 5.3	Hk/E	38.4
4	5.3 - 6.6	Si/E	29.5
5	6.6 - 7.8	hkSi/E	25.7



Taulukko: Painuman laskeminen

Sarake 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
							<del>7</del> x <del>8</del>	<del>5</del> + <del>8</del>			<del>10</del> - <del>11</del>	<del>4</del> x <del>12</del>	<del>2</del> x <del>13</del>
laskenta kerros	kerroksen paksuus $\Delta z$ [mm]	moduuli- luku $m_z$	$\frac{0,2}{m_z}$	tehokas esikuorm. $\sigma_{cz}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	suht. syvyys $z/B_t$	$\Delta\sigma_z / \Delta\sigma_o$ (ohjeen kuva 6)	$\Delta\sigma_z$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_z$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sqrt{\sigma_z}$	$\sqrt{\sigma_{cz}}$	$\sqrt{\sigma_z} - \sqrt{\sigma_{cz}}$	$\varepsilon_z$	$\Delta S$ [mm]
1	600	200	0,001	45 = $\sigma_{co}$	0	1,0	61	106	10,3	6,7	3,6	0,0036	2,2
2	750	100	0,002	52	0,31	0,73	45	97	9,8	7,1	2,7	0,0054	4,0
3	750	120	0,0017	59	0,70	0,54	33	92	9,6	7,7	1,9	0,0032	2,4
4	750	120	0,0017	66	1,09	0,42	26	92	9,6	8,1	1,5	0,0025	1,8
5	1150	40	0,0050	74	1,48	0,33	20	94	9,7	8,6	1,1	0,0055	6,3
6	500	300	0,0007	85	2,08	0,24	15	100	10,0	9,2	0,8	0,0006	0,9

$$\Sigma S = 17,6 \text{ mm}$$

$$B_t = 1,9 \text{ m}$$

$$\sigma_o = 106 \text{ kN/m}^2 \quad \Delta\sigma_o = \sigma_o - \sigma_{co}$$

$$L_t = 20,0 \text{ m}$$